Niveau(x) d'enseignement: 7 Numéro ISN : 9520
Centre d'intérêt: 842

Fortin, Yvon.

Démythification de la physique : matériel didactique / [Yvon Fortin pour la] Direction générale de l'enseignement collégial, Service du développement des programmes. -- [Québec] : Ministère de l'enseignement supérieur et de la science, 1990.
vii, 155 p. ; 28 cm. -- (Aujourd'hui, demain)

"Opération Boules à mythes". Code: 1513-0146 ; 89-0721. Bibliogr.: p. 153-155.

ISBN 2-550-20711-4

Vedette(s)-secondaire(s): Québec (Province). Direction générale de l'enseignement collégial. Service du développement des programmes

Descripteur(s): Physique • Matériel didactique • Activité d'apprentissage • Collégial (Ordre d'enseignement)

Ce document présente du matériel didactique d'appoint pour le personnel enseignant qui doit travailler à diminuer les résistances des élèves à l'apprentissage de la physique, ainsi que pour ceux et celles qui doivent développer une plus grande assurance en leur capacité de réussir dans cette discipline. L'introduction présente les fondements théoriques qui sous-tendent l'approche de démythification de la mathématique, de la physique et de la chimie. Sans vouloir réduire la problématique du taux élevé d'abandons et d'échecs au choix de la stratégie pédagogique, on tente essentiellement de situer la lectrice et le lecteur et de justifier l'option retenue. Le corps du recueil est réservé aux activités de démythification. Ces dernières sont indépendantes les unes des autres et sont structurées de la façon suivante: numéro et titre de l'activité, mythe, anti-mythe, objectifs, contenu théorique, matériel requis, durée, déroulement, notes/commentaires, annexes. La majorité des activités proposées permettent simplement l'introduction de courtes expériences de démythification lorsque celles-ci peuvent faciliter l'appréhension du matériel scientifique. Certaines autres activités sont toutefois plus élaborées compte tenu du sujet traité et de la préoccupation d'une réponse adaptée aux besoins d'une clientèle diversifiée.

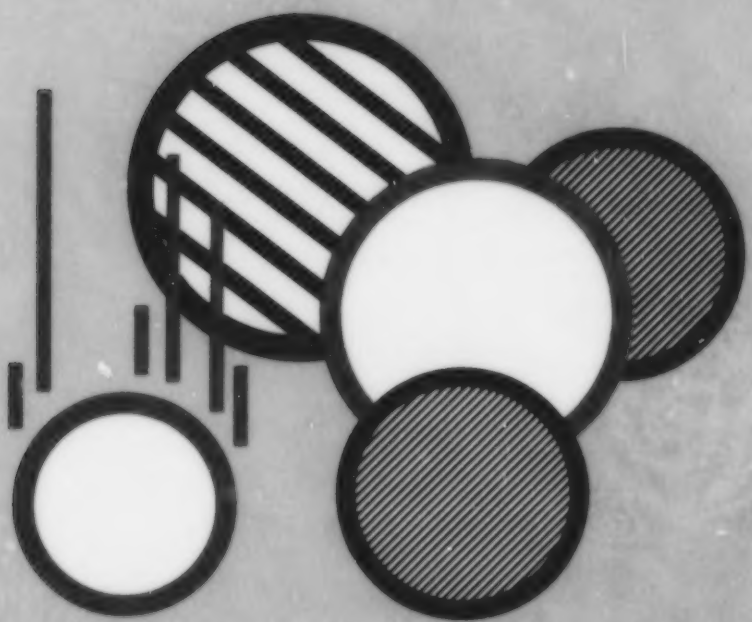
Type de document:

AUJOURD'HUI, DEMAIN

Démythification de la physique

Matériel didactique

« Opération boules à mythes »



Québec

9520

DÉMYTHIFICATION DE LA PHYSIQUE

MATÉRIEL DIDACTIQUE

« Opération boules à mythes »

Direction générale de l'enseignement collégial
Service du développement des programmes
Septembre 1990

© Gouvernement du Québec
Dépôt légal: troisième trimestre 1990
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada

ISBN 2-550-20711-4

Rédaction

Yvon Fortin, Cégep François-Xavier-Garneau

Coordination

Marie Lamoureux

Responsabilité du projet

France Picard, Service du développement des programmes

Avant-propos

L'«opération boules à mythes» a été réalisée par une équipe de deux enseignantes et d'un enseignant soucieux d'adapter l'enseignement de la mathématique, de la physique et de la chimie pour respecter la réalité de l'élève en situation d'apprentissage. Ils nous offrent une série de trois recueils d'activités pédagogiques basées sur une approche de démythification de la discipline. Cette approche tente de prendre en compte les processus émotifs qui interviennent dans l'apprentissage de la mathématique et des sciences. Plus précisément, les activités de démythification intègrent des éléments de la réalité socio-politique qui interviennent dans le processus de transmission des connaissances scientifiques et tentent de dénouer les effets psychologiques produits sur l'élève et qui nuisent à son apprentissage.

Les efforts déployés pour adapter l'enseignement de la mathématique et des sciences à la situation de l'élève étaient commandés par la problématique des échecs et abandons scolaires enregistrés dans ces disciplines. Certes, les activités proposées ne peuvent à elles seules solutionner la problématique. Il s'agit néanmoins d'une approche novatrice qui a été expérimentée localement et dont les résultats se sont avérés prometteurs.

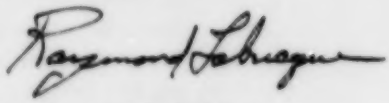
Les activités pédagogiques ont été élaborées en fonction des particularités de la clientèle adulte. Elles pourront cependant être utilisées avec les élèves de l'enseignement ordinaire.

Nous tenons à remercier l'auteur, monsieur Yvon Fortin, du cégep François-Xavier-Garneau, pour la qualité des travaux accomplis et la contribution qu'il apporte à l'enseignement de la physique au collégial. Nous désirons souligner l'excellente collaboration des deux autres membres de l'équipe de l'«opération boules à mythes»: madame Francine Gaulin, du cégep de Limoilou et madame Louise Lafortune, du cégep André-Laurendeau, notamment pour son apport sur les aspects théoriques. Nos remerciements vont également à monsieur Marc Chabot, enseignant au cégep François-Xavier-Garneau, pour la collaboration à l'écriture des textes déclencheurs et la qualité de ses réflexions sur le présent sujet, monsieur Yves Gingras de l'UQUAM, qui a accepté de rendre disponible une importante documentation, ainsi que madame France Bordeleau qui a effectué la révision linguistique.

L'équipe de l'«opération boules à mythes» compte d'autres collaboratrices et collaborateurs que nous désirons remercier. Il s'agit de madame Chantal Leclerc, du Service des affaires étudiantes, pour sa participation à la définition des orientations du projet, madame Marie Lamoureux qui a assumé la coordination de l'opération, monsieur Jean-Claude Saint-Hilaire, du cégep de Sainte-Foy, qui a effectué la recension des écrits et la mise en page, madame Ginette Beaulieu, Média Science, pour la vulgarisation d'écrits scientifiques, monsieur Jacques Robitaille, Service de développement du matériel didactique, pour ses précieux conseils sur l'art de l'écrit pédagogique,

madame Doris Bouchard qui a assumé par intérim la responsabilité du projet ainsi que madame Chantal Gaudreault pour la saisie des textes. Finalement, la production des recueils de démythification de la mathématique et des sciences n'aurait été rendue possible sans la collaboration des Services de l'éducation des adultes des cégeps de Limoilou, de Sainte-Foy et de François-Xavier-Garneau qui ont assumé la gestion financière de l'opération.

Nous espérons que le présent recueil fasse boule de neige auprès des personnels enseignants et qu'il contribue à rendre l'enseignement de la physique plus accessible, voire attrayant.



Raymond Labrecque
Service du développement des programmes
Direction générale de l'enseignement collégial

Préambule

L'idée de tenir compte de l'influence des mythes sur la prédisposition à l'apprentissage est relativement nouvelle et est encore au stade exploratoire. Les discussions fondamentales de l'équipe de rédaction pour distinguer mythe de mystère, vulgarisation de démythification et pour établir un consensus sur la raison d'être d'une telle orientation témoignent de cette nouveauté.

À l'image de tout processus de découverte, l'équipe de pédagogues engagée dans cette production a eu à composer avec plusieurs inconnus et leur tolérance à l'ambiguïté fut mise à rude épreuve. Malgré tout, la conviction profonde de la possibilité d'intervenir et d'influencer directement le processus d'apprentissage en s'engageant dans l'avenue de la démythification leur est apparue suffisamment stimulante pour tenter de cerner les divers aspects. Trois documents pédagogiques composant la série «Opération boules à mythes» ont vu le jour: Démythification de la mathématique, Démythification de la chimie et Démythification de la physique.

C'est précisément à l'exploration de ce dernier recueil que nous vous invitons à participer.

Présentation générale

Démythification de la physique présente du matériel didactique d'appoint pour le personnel enseignant qui doit travailler à diminuer les résistances des élèves à l'apprentissage de la physique, ainsi que pour ceux et celles qui doivent développer une plus grande assurance en leur capacité de réussir dans cette discipline.

L'introduction présente les fondements théoriques qui sous-tendent l'appro-che de démythification de la mathématique, de la physique et de la chimie. Sans vouloir réduire la problématique du taux élevé d'abandons et d'échecs au choix de la stratégie pédagogique, on tente essentiellement de situer la lectrice et le lecteur et de justifier l'option retenue.

Le corps du recueil est réservé aux activités de démythification. Ces dernières sont indépendantes les unes des autres et sont structurées de la façon suivante:

Numéro et titre de l'activité
Mythe
Anti-mythe
Objectif(s) de l'activité
Contenu théorique
Matériel requis
Durée
Déroulement de l'activité
Notes / Commentaires
Annexes

Comme on pourra le constater, la majorité des activités proposées permettent simplement l'introduction de courtes expériences de démythification lorsque celles-ci peuvent faciliter l'appréhension du matériel scientifique. Certaines autres activités sont toutefois plus élaborées compte tenu du sujet traité et de la préoccupation d'une réponse adaptée aux besoins d'une clientèle diversifiée.

Votre participation à l'exploration de l'option démythification de l'enseignement et de l'apprentissage de la physique va au-delà de l'utilisation de ce matériel didactique. Nous souhaitons également recevoir vos commentaires sur les activités offertes de même que vos propositions d'exercices ou de mises en situation susceptibles d'enrichir le présent document.

Pour ce faire, veuillez nous faire part de chacune de vos suggestions en indiquant:
— le titre du recueil
— le numéro de l'activité (s'il y a lieu)
— les commentaires ou suggestions.

Adresse de retour:

Service du développement des programmes
Direction générale de l'enseignement collégial
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science
1033, de la Chevrotière, Édifice Marie-Guyart (18e étage)
Québec G1R 5K9

Par souci d'honnêteté intellectuelle, nous croyons opportun de faire une mise en garde concernant l'«Opération boules à mythe»... L'utilisation répétée d'activités de démythification de la physique présente un certain risque d'accoutumance qui peut s'accroître avec l'usage. On prévoit même une transformation qualitative de la relation pédagogique qu'elle permet d'établir en situation de formation.

Nous espérons pouvoir vous compter au nombre de ceux et celles qui s'engageront dans cette merveilleuse aventure.

Table des matières

Avant-propos		iii
Préambule		v
Table des matières		vii
Introduction: Des mythes, des maths et des sciences		1
Note de l'auteur		15
Activités portant sur la démythification de la physique		21
1	L'alphabet est au français ce que la mathématique est à la physique	23
2	Relativiser l'évaluation dans les cours de sciences	28
3	La science, ça m'intéresse, mais pas dans les cours	34
4	À propos de soi	37
5	La réussite	39
6	Anxiété ou joie d'apprendre	42
7	La motivation et la réussite	46
8	Processus d'apprentissage	49
9	Réussite femmes-hommes	53
10	Femmes en sciences	54
11	La science telle qu'elle nous est présentée: fiction ou réalité	64
12	Préjugés et dogmatisme	68
13	Éleusis ou le raisonnement inductif	71
14	Modèle féminin: Marie Sklodowska-Curie	77
15	Les scientifiques sont bornés	83
16	Comment naissent les mythes (première version)	89
17	Comment naissent les mythes (deuxième version)	93
18	Le vrai scientifique est toujours sûr de lui	95
19	La science au service de l'ésotérisme et de la mystique	98
20	Théories: vraies ou fausses	102
21	L'intuition dans la méthode scientifique	105
22	Les scientifiques sont objectifs et désintéressés	110
23	La responsabilité des scientifiques	113
24	La science moderne et le savoir	115
25	La science, une religion	119
26	Fabrication d'une figure mythique	123
27	La science est ...	125
28	Aristote et Galilée en chute libre	130
29	Contre la méthode	133
Bibliographie		151

Introduction

Des mythes, des maths et des sciences

La mathématique et les sciences se sont construites à partir de découvertes s'échelonnant sur plusieurs millénaires. Aujourd'hui, cet héritage historique est enseigné dans nos établissements scolaires, mais il englobe plus que des connaissances disciplinaires. Il comporte également des façons de faire propres aux sciences exactes (la méthode scientifique), un prestige propre aux sciences exactes (l'appellation sciences «exactes» est éloquente), un profil des scientifiques propre aux sciences exactes, etc. Outre l'héritage disciplinaire proprement dit, la mathématique et les sciences comportent donc un héritage culturel.

Est-il possible qu'au cours des âges, des mythes se soient immiscés dans l'héritage de la mathématique et des sciences? Est-il possible que ces mythes soient encore présents et retransmis dans l'enseignement de la mathématique, de la chimie et de la physique? De nouveaux mythes sont-ils apparus? Les mythes entravent-ils l'apprentissage de ces disciplines?

Au cours de ce premier chapitre, nous tenterons de démontrer qu'il est plausible d'associer la problématique des échecs et abandons en mathématique, en physique et en chimie à la présence de mythes contenus dans la discipline elle-même, dans la relation pédagogique et dans l'esprit des élèves. Nous examinerons de façon particulière comment cette problématique est vécue par les adultes qui, demeurés hors du circuit scolaire, n'ont peut-être pas pu modifier leur représentation de la mathématique et des sciences. Nous étudierons également comment ces mythes affectent les femmes, compte tenu que le sexe féminin a traditionnellement été sous-représenté en mathématique et en sciences. Finalement, nous proposerons des pistes de solution que nous illustrerons à partir d'expériences de pédagogie démythifiante.

1. Conséquences des abandons et des échecs en mathématique et en sciences

Dans le cadre de l'enseignement collégial, on constate un très haut taux d'abandons et d'échecs scolaires en mathématique, en physique et en chimie. Comme il s'agit de disciplines généralement préalables à la poursuite de formations prometteuses sur le plan des perspectives d'emploi — formations axées sur les nouvelles technologies —, on comprendra que les échecs et abandons dans ces disciplines deviennent des obstacles majeurs à l'orientation professionnelle.

Outre les obstacles socio-professionnels qu'entraînent les difficultés scolaires en mathématique et en sciences, on peut également regarder le problème sous l'angle de ses effets psychologiques sur l'élève qui échoue en mathématique, en chimie ou en physique et qui en vient finalement à «décrocher» de la discipline. Il semble que des expériences d'échecs répétés dans une discipline amènent l'élève à entretenir une représentation négative. Il aborde alors la discipline avec un préjugé défavorable et il a tendance à ne retenir de ses expériences que celles qui confirment ses préjugés initiaux.

Les adultes qui reprennent leurs études après une absence prolongée apportent avec eux leurs antécédents en mathématique, en chimie et en physique, souvent tissés d'échecs et de difficultés et donc empreints d'une représentation négative de ces disciplines. Absents du milieu scolaire, les adultes n'ont pas eu l'occasion de modifier leur représentation négative de la mathématique et des sciences. De leur côté, les médias ne se montrent pas très rassurants lorsqu'ils invoquent des échecs prétendument considérables en mathématique et en sciences. Les adultes entendent également parler des nouveaux programmes, des «maths modernes», de laboratoires de chimie et de physique sans avoir pu suivre les changements intervenus dans le système scolaire depuis qu'ils ont quitté l'école et sans avoir pu s'y adapter.

Dans le cadre du présent recueil, nous avons choisi d'examiner comment les contenus théoriques des cours, les interventions pédagogiques et les attitudes du personnel enseignant contribuent à renforcer les préjugés que l'élève entretient envers une discipline où il est «habitué» à échouer. Nous postulons que la mathématique et les sciences font l'objet de mythification tant sur le plan des méthodes de travail, des scientifiques que sur le plan du contenu théorique. Combien de fois avons-nous entendu parler de la «bonne réponse» et de l'«unique méthode», du travail solitaire des scientifiques, de la neutralité de la science, de la «bosse des maths»...; cette mythification inhibe l'apprentissage.

2. Mythification

Même si de plus en plus de personnes s'intéressent à la mathématique et aux sciences, même si les femmes qui ont toujours été éloignées de ces domaines traditionnellement réservés aux hommes nous démontrent qu'elles peuvent réussir, les mythes créés autour de la mathématique et des sciences ont la «vie dure». Encore très présents dans l'esprit des élèves, ils sont souvent responsables des attitudes négatives à l'égard de ces disciplines.

Certains de ces mythes se rapportent directement aux disciplines scientifiques; ils constituent probablement des stimuli répulsifs qui ont pour effet de désintéresser les élèves de l'apprentissage de la mathématique et des sciences. *La mathématique et les sciences sont exactes, neutres et objectives*: elles ne peuvent donc pas être accessibles aux êtres humains enclins à commettre des erreurs. *La physique, la chimie et la mathématique sont magiques*: elles ne peuvent donc pas être comprises.

D'autres mythes touchent le processus de découverte en mathématique et en sciences. *Il existe une «réponse unique» et une seule «bonne méthode» dans la résolution d'un problème*, ce qui laisse peu de place à la créativité, à l'intuition et à l'imagination. *L'histoire de la mathématique et des sciences est un processus fini qui ne peut être remis en cause*: il ne peut donc plus y avoir d'évolution de l'histoire de la mathématique, de la chimie et de la physique.

Certains mythes s'adressent plutôt aux scientifiques et aux professeurs et professeures de mathématique et de sciences. *La ou le scientifique froid et sans émotions* ne permet pas à l'élève

d'exprimer les émotions suscitées par ces disciplines (peur, anxiété, plaisir...). *C'est toujours facile pour le «prof»* montre que l'élève ayant des difficultés ne peut réussir dans ces disciplines, car la solution devrait surgir instantanément. *Le travail du scientifique est un travail de solitaire auquel on doit consacrer sa vie* projette une image faussée de la recherche scientifique qui se fait le plus souvent en équipe.

Enfin, d'autres mythes mettent l'élève en relation avec son apprentissage de la mathématique et des sciences. *La «bosse des maths»* limite la réussite à une élite intellectuelle et sociale. *Les garçons peuvent mieux réussir que les filles en mathématique et en sciences* éloigne les filles de ces disciplines et les maintient dans les ghettos féminins.

Une fois que l'élève a intégré ces mythes à sa représentation de la mathématique et des sciences, il les utilise comme arguments pour justifier sa faible performance: «Même si je passais des heures à étudier la physique, la chimie et les maths, je ne réussirais pas mieux. On n'a pas la «bosse des maths» dans notre famille.» On remarque que l'élève intériorise le mythe, le personnalise et oublie que sa croyance provient d'un mythe véhiculé socialement. Cette situation pourrait en partie expliquer le fait que ces mythes se perpétuent.

Un mythe tenace: le talent

Blouin (1985) constate que la réussite en mathématique n'a rien à voir avec un prétendu talent «spécial» ou «supérieur». Elle est plutôt due à un ensemble de réactions personnelles (méthode de travail, confiance, motivation, effort) devant une situation d'apprentissage. En appliquant sa recherche à la physique (Blouin, 1986), il conclut que les difficultés dans l'apprentissage de la mathématique et des sciences ne découlent pas uniquement d'inaptitudes intellectuelles. L'explication des échecs et des abandons se retrouve aussi dans la peur et les réactions d'anxiété à l'égard de ces disciplines. Aussi, la réussite dans ces domaines demande-t-elle une assiduité et des efforts que beaucoup d'élèves n'ont pas nécessairement développés au cours de leurs études.

Dans la même ligne, ajoute Tobias (1978), il importe que les élèves connaissent leur propre style d'apprentissage, puissent bien distinguer l'intuition de la mythique «bosse» de la mathématique, et sachent que l'aptitude à résoudre des problèmes s'acquiert par la pratique et l'autonomie.

De son côté, le personnel enseignant est influencé par les données statistiques sur les piètres résultats scolaires des élèves en mathématique et en sciences. Il est également influencé par le sens commun qui attribue les échecs et les abandons au manque d'aptitude et de motivation des élèves.

> *Les mythes créés autour de la mathématique et des sciences et intégrés par les élèves sont souvent responsables des attitudes négatives à l'égard de ces disciplines.*
> *D'une part, l'élève qui a intégré certains mythes sur la mathématique et les sciences les utilise comme arguments pour justifier sa faible performance.*

D'autre part, certains professeurs et professeures sont influencés par l'idée que la mathématique et les sciences sont des disciplines difficiles d'accès où le talent fait toute la différence entre la réussite et l'échec.

3. Mythification de la mathématique et des sciences par les adultes

Depuis la fin des années 70, la recherche sur les adultes s'est développée. On reconnaît de plus en plus que les élèves adultes sont différents des jeunes; les motifs invoqués pour étudier ne sont pas les mêmes qu'à l'enseignement ordinaire et l'apprentissage des adultes ne se fait pas de la même façon. Les professeurs et les professeures de mathématique et de sciences, à l'éducation des adultes et de plus en plus à l'enseignement ordinaire, doivent enseigner à des adultes. Ils ont appris dans la pratique à tenir compte des particularités de chaque groupe sans toutefois bien connaître les particularités des adultes, hommes et femmes, ainsi que les principes andragogiques à respecter. Puisque les activités de démythification sont principalement conçues pour les adultes, nous tenterons de clarifier les aspects suivants: particularités des adultes, particularités de la population étudiante féminine et principes andragogiques.

Particularités des adultes

De plus en plus d'adultes s'inscrivent dans des démarches de réorientation professionnelle. Les programmes offerts actuellement exigent le plus souvent des cours de mathématique et de sciences. Mais comme les adultes ont souvent eu des expériences traumatisantes, ils sont inquiets à l'idée de devoir s'y inscrire. En outre, malgré leur grande motivation, ils éprouvent parfois de l'anxiété, car leur besoin de perfectionnement ou leur désir de se recycler dépend souvent de leur réussite à ces cours.

L'adulte reprend ses études dans l'espoir de se réaliser, d'accroître sa compétence et d'enrichir ses connaissances (Rogers, 1971; Verner, 1971). Il «espère ainsi obtenir une promotion, un travail moins monotone, ou satisfaire un intérêt qu'il poursuit durant ses moments de loisir» (Dufresne-Tassé, 1971, p. 19). À ces objectifs s'ajoutent ceux des étudiantes qui semblent former un groupe à part. Les femmes obéiraient à d'autres motifs: s'évader de la maison, se prouver qu'elles n'ont rien perdu de leur vivacité intellectuelle, se préparer à retourner au travail, rafraîchir des connaissances acquises antérieurement ou acquérir un métier tout à fait nouveau.

L'adulte, tel que défini par Bernard (1978), est un «individu qui est dans un état de vie où il assume des responsabilités pour lui-même et habituellement pour d'autres tout en jouant des rôles professionnels dans la communauté» (p. 6). Selon le même auteur, l'adulte est différent du jeune parce qu'il possède en lui-même les ressources essentielles à sa croissance et à son développement et qu'il a des expériences personnelles et professionnelles qui le différencient des élèves plus jeunes. Il a des souvenirs de son apprentissage teintés d'émotion qui datent de plusieurs années (enfance ou adolescence) et il tient à développer des connaissances et des habiletés en lien étroit avec ses responsabilités et ses activités. Cela est d'autant plus important

pour l'adulte qui n'a pas de temps à perdre, qui a des objectifs immédiats à réaliser et qui tient, le plus souvent, «à être respecté» dans son rythme d'apprentissage.

La peur de l'échec est un phénomène très important dans l'apprentissage de l'adulte. Cette peur de l'échec serait peut-être liée au fait que «l'apprenant adulte a des perceptions multiples lorsqu'il envisage l'apprentissage. Il a des images mentales émotivement ancrées en lui; elles ne sont pas nécessairement positives, cela signifie que des opérations de démantèlement seront utiles pour faciliter l'apprentissage» (Bernard, 1978, p. 32).

Dans le même sens, Dufresne-Tassé (1978) nous signale que «l'adulte qui se présente au cours est habituellement anxieux» (p. 19), parce qu'il a l'impression que ses capacités ont diminué (Rogers, 1971; Knowles, 1970); il a peur de ne pas connaître des notions que toute personne de son âge devrait maîtriser (Rogers, 1971); il a peur de découvrir que ce qu'il fait habituellement n'est pas correct et d'être obligé de changer (Rogers, 1971; Verner, 1971). Cette résistance au changement tend à le placer dans un état de déséquilibre et, bien qu'autonome, il a besoin d'aide afin d'être sécurisé dans sa capacité d'apprendre (Miller, 1984).

Dans une démarche d'exploration de la place qu'occupe la mathématique dans le choix de carrière des adultes (Lafortune, 1987), il a été constaté que les orientations choisies antérieurement par ces adultes ainsi que leurs choix actuels dépendent de plusieurs facteurs: vie familiale, conditions financières, âge, conditions de travail, emplois disponibles, cours de mathématique... Leurs résultats scolaires antérieurs, entre autres en mathématique, ont joué un rôle dans le choix de leur première orientation et les préoccupent lorsqu'ils songent par la suite à s'inscrire à des cours de mathématique.

Dans une autre recherche (Lafortune, 1987) on rapporte que les professeurs et les professeures parlent beaucoup, sous différentes formes, du manque de confiance des adultes en leur capacité de réussir. Les adultes semblent abandonner, se décourager facilement et par conséquent, ont besoin d'être stimulés. Ils reprennent leurs études après plusieurs années d'absence du système scolaire et ont souvent de mauvais souvenirs de leurs cours de mathématique et de sciences antérieurs. Toutes ces raisons, et peut-être d'autres aussi, les amènent à ne pas avoir confiance en eux.

Particularités de la population étudiante féminine

Les élèves adultes ne constituent pas un groupe homogène. Nous désirons souligner les particularités des femmes dans l'apprentissage de la mathématique et des sciences, disciplines traditionnellement masculines où peu de femmes font carrière. Même si notre but n'est pas d'amener les femmes qui reprennent leurs études à devenir mathématiciennes, chimistes ou physiciennes, le manque de modèle féminin dans ces disciplines amène les élèves, hommes et femmes, à attribuer le genre masculin à la mathématique et aux sciences (il y a à peine 5 p. 100 de femmes dans le corps professoral universitaire en mathématique et en sciences physiques et elles n'occupent à peu près pas de postes de commande (Lavergnas-Grémy, 1983)).

Aussi, les filles et les femmes tendent à se disqualifier hâtivement et à abandonner l'étude de la mathématique et des sciences après le secondaire. Les filles attribuent leurs succès scolaires au travail et à l'effort qu'elles fournissent tandis que les garçons l'attribuent davantage à leurs habiletés. Et les filles ayant moins confiance en elles se dirigent, semble-t-il, vers des domaines n'exigeant pas de mathématique (Mura, 1986). Cette disqualification ne repose en rien sur les performances scolaires dans ces disciplines. Le Conseil des sciences du Canada (1982), le Conseil du statut de la femme et le ministère de la Science et de la Technologie (1985) soulignent qu'au secondaire, les filles suivent autant de cours de sciences que les garçons et qu'elles réussissent aussi bien, sinon mieux qu'eux.

Les femmes ont subi dans une mesure plus ou moins grande des conditionnements sociaux et des stéréotypes qui les ont écartées de ces disciplines. On les a dissuadées et même parfois empêchées d'entreprendre des études dans ces domaines. Mais comme le dit Tobias (1978), la mathophobie n'est pas uniquement un «problème de femmes». Les hommes éprouvent aussi des difficultés d'ordre affectif dans l'apprentissage de la mathématique, de la chimie et de la physique, pour des raisons différentes cependant. Les pressions familiales et sociales exercées sur les hommes les poussent à se diriger vers des disciplines scientifiques et à y réussir; ils craignent donc d'échouer dans des domaines qu'ils n'ont pas vraiment désirés.

> *Les échecs et les abandons en mathématique et en sciences sont actuellement des obstacles majeurs à l'orientation professionnelle. Cette situation a des effets psychologiques sur les élèves qui échouent dans ces disciplines. Ils entretiennent une représentation négative de la mathématique et des sciences.*
> *La mathématique et les sciences font donc l'objet d'une mythification d'autant plus importante chez les adultes qui reprennent leurs études après une absence de plusieurs années et chez les femmes qui subissent dans une mesure plus ou moins grande les conditionnements sociaux et les stéréotypes qui les ont écartées de ces disciplines.*

Principes andragogiques

À partir des particularités des adultes décrites précédemment, nous préciserons quelques principes andragogiques à appliquer dans l'enseignement aux adultes. Ces principes, généralement examinés pour l'ensemble des disciplines, peuvent facilement s'appliquer à la physique, à la chimie et à la mathématique. Ce court rappel vise à préciser que l'efficacité des activités de démythification auprès des adultes repose également sur l'utilisation de stratégies pédagogiques adaptées à ce groupe. C'est un préalable essentiel.

Les formules pédagogiques les mieux adaptées à l'adulte doivent favoriser l'apprentissage actif et être centrées sur l'expérience de l'élève (Pitre, 1979; Kidd, 1973; Rogers, 1971; Verner, 1971; Knowles, 1970; Pine, 1969). Knowles (1970) et Pine (1969) suggèrent au personnel enseignant d'éviter de présenter ce que l'élève doit apprendre comme étranger à ses préoccupations. Beaudet

(1981) ajoute que les programmes de l'enseignement ordinaire sont souvent loin de répondre aux besoins particuliers des adultes. Il importe donc d'adapter l'enseignement ordinaire à l'éducation des adultes et ce, dans toutes ses composantes (contenu des programmes, méthodes pédagogiques, objectifs de formation...).

Par ailleurs, une recherche qui interrogeait le personnel enseignant en mathématique sur son expérience de l'enseignement aux adultes propose des moyens d'adapter l'enseignement à ce groupe. Avec les adultes, signale-t-elle, il importe de tenir compte des rythmes d'apprentissage, de ralentir le rythme de transmission des connaissances, surtout au début de l'apprentissage. Les rencontres de groupe sont des moments privilégiés de communication. Les adultes se sentent alors moins seuls avec leurs difficultés, les affinités entre eux se révèlent plus facilement et les contacts se font plus rapidement (Lafortune, 1987).

Les expériences personnelles et professionnelles des adultes et leurs attentes sont diverses. Les activités de démythification de la mathématique et des sciences constituent un moyen de mieux les rejoindre et de s'adapter aux diverses situations. Les réflexions des adultes en classe nous permettent parfois de choisir des activités capables de modifier leur représentation négative.

Les obstacles d'ordre affectif sont particulièrement importants chez les femmes qui ont quitté les études ou le marché du travail depuis quelques années, qui se sentent étrangères au monde de l'éducation, qui ont subi des conditionnements sociaux et des stéréotypes les écartant de ces disciplines traditionnellement associées aux hommes et dites peu utiles pour elles. Nous devons donc porter une attention particulière au contenu des activités de démythification afin que les femmes puissent recouvrer ou développer leur confiance de réussir.

Les adultes, hommes et femmes, disent souvent avoir tout oublié. Nous pouvons leur rappeler des notions déjà apprises en leur faisant prendre conscience qu'ils utilisent très souvent la mathématique et les sciences de façon intuitive dans leur quotidien. Cela les rend plus confiants ou, tout au moins, leur fait accepter de poursuivre leurs cours de mathématique, de physique et de chimie avec un peu plus d'assurance et favorise un meilleur apprentissage de ces disciplines.

> *Compte tenu des particularités des adultes (plusieurs années sans avoir étudié, diversité des expériences personnelles et professionnelles, grande motivation, manque de confiance, peur de l'échec, anxiété...), il importe d'adapter l'enseignement de la mathématique et des sciences à ce groupe particulier, hommes et femmes.*

4. Démythification ou comment relever le défi des abandons et des échecs en mathématique et en sciences

Plusieurs recherches ont tenté de cerner les raisons des nombreux échecs et abandons en mathématique et en sciences; plusieurs expériences ont essayé d'apporter des solutions à cette

situation en préconisant notamment l'utilisation d'activités de démythification (Lafortune, 1987; Lee, 1986; Tobias, 1978). Nous ne prétendons pas que ce moyen est unique, mais il est susceptible de rendre plus positives les attitudes des élèves et de renforcer la confiance de réussir en mathématique et en sciences.

Les élèves influencés par les mythes entretenus à l'égard de la mathématique et des sciences ont tendance à expliquer les raisons de leurs abandons et échecs à l'aide d'idées préconçues (Je n'ai pas la «bosse des maths», seuls les garçons peuvent bien réussir en mathématique, en chimie et en physique...).

Pourtant, la problématique des échecs et abandons scolaires pourrait être attribuée à bien d'autres causes: lourdeur des programmes scolaires, manque de temps pour couvrir toutes les notions, lacunes liées à l'enseignement de la mathématique et des sciences au secondaire, ratio professeur-élève, etc. De fait, ces facteurs interviennent dans la problématique. Nous avons choisi d'essayer d'exploiter les éléments de solution à la portée des enseignants et enseignantes, et applicables dans le contexte actuel. Même si les méthodes pédagogiques utilisées par le personnel enseignant en mathématique et en sciences ne constituent pas nécessairement la principale cause du problème, il s'agit là d'un facteur susceptible d'influencer la représentation défavorable que certains élèves entretiennent à l'égard de ces disciplines. Dans ce sens, nous proposons l'utilisation d'activités de démythification de la mathématique et des sciences.

Comment démanteler ces représentations mythiques?

Les mythes ont la vie dure. Il ne suffit donc pas d'évoquer avec les élèves l'existence de mythes pour que le changement s'opère aussitôt. L'intervention repose sur une double opération.

Premièrement, il convient de retracer avec l'élève l'origine des mythes et de démontrer que la représentation mythique qu'il entretient n'est pas une pure création de son imagination farfelue, mais qu'elle provient d'un héritage culturel. Par exemple, on peut mettre le mythe de la «bosse des maths» en relation avec le statut prestigieux attribué aux scientifiques. Dans le sens commun, la «bosse des maths» ou l'esprit génial viennent corroborer le prestige que l'on consent aux scientifiques. Sinon, pourquoi devrait-on continuer à les considérer avec autant d'égard?

Cette première opération permet de légitimer en quelque sorte la représentation mythique de l'élève (et non pas le mythe), sans éveiller la culpabilité de l'élève ainsi démasqué dans ses pensées mythiques.

Deuxièmement, il convient d'aider l'élève à formuler une explication plus raisonnée de ses difficultés en mathématique ou en sciences et à acquérir une représentation plus réaliste de la mathématique, de la chimie ou de la physique, tout en proposant des solutions concrètes. Comme nous le verrons, les élèves sont capables de dépasser le sens commun et de circonscrire les raisons de leurs difficultés. Par exemple, Blouin (1987) intervenait auprès des élèves en tentant de modifier leurs habitudes de travail.

L'utilisation d'activités de démythification de la mathématique, de la physique et de la chimie est susceptible de rendre plus positives les attitudes des élèves et de renforcer leur confiance de réussir en mathématique et en sciences.

5. Démythification

Comme les notions de démystification, démythification, vulgarisation et concrétisation portent parfois à confusion, nous tenterons d'en clarifier le sens. La vulgarisation et la concrétisation sont des moyens pédagogiques fréquemment utilisés dans l'enseignement afin de rendre des notions plus faciles à comprendre. L'enseignant ou l'enseignante vise alors une meilleure compréhension sans toutefois rechercher principalement un changement d'attitude, même si cela se produit parfois. La démystification et la démythification tentent de dévoiler certains mystères et mythes. L'objectif visé est alors un changement d'attitude. Si l'enseignant ou l'enseignante propose aux élèves une représéntation plus juste des disciplines concernées et du personnel enseignant, les élèves pourront adopter une attitude plus positive, être plus attentifs et mieux comprendre les notions enseignées.

Pour une pédagogie démythifiante

La démythification a pour objectif de lever le mystère sur ce qui n'en est pas un. Les activités de démythification proposées ultérieurement seront orientées vers trois cibles: démythifier la discipline, ses contenus théoriques, sa méthodologie, ses applications, etc.; démythifier le scientifique, sa démarche, ses erreurs, ses angoisses, etc.; démythifier la représentation mythique que l'élève entretient à l'égard de la mathématique ou des sciences. Examinons donc ces cibles de démythification de façon plus détaillée.

La discipline

En ce qui concerne la discipline, nous pouvons tenter de rendre le contenu théorique plus abordable et accessible. Nous pouvons le lier au concret, à «la vie de tous les jours» en tenant compte du groupe auquel nous nous adressons (jeunes, adultes, femmes) et des diverses orientations professionnelles des élèves (informatique, sciences, psychologie, techniques de bureau, génie...). Cette façon de procéder relève plus particulièrement de la vulgarisation et de la concrétisation, mais elle rejoint la notion de démythification en dénonçant le mythe de l'inaccessibilité de la discipline.

Actuellement, l'enseignement des sciences ne semble rendre compte que des résultats des recherches en omettant souvent de présenter la démarche, le processus. La matière est organisée de façon systématique et ordonnée; tout s'enchaîne comme s'il n'y avait eu aucune faille dans la démarche de recherche. Pourtant, le processus scientifique est tout autre. Il est fait d'essais et d'erreurs, de créativité et d'originalité. Il découle souvent de tâtonnements, d'hypothèses erronées et de fausses pistes (Blouin, 1986). En dévoilant cet aspect de l'enseignement de la

mathématique et des sciences, on peut démythifier la méthode scientifique et ses applications en faisant valoir l'importance de la méthode utilisée et du processus essais-erreurs, ainsi que de l'utilité de l'intuition et des hypothèses parfois invérifiées.

Le scientifique

L'image des scientifiques, des professeures ou des professeurs de mathématique et de sciences véhiculée socialement peut laisser croire à l'élève qu'ils sont des personnes inaccessibles, infaillibles, bref des modèles que l'élève ne sera jamais capable d'imiter. Pour contrer ce mythe, le personnel enseignant doit s'impliquer davantage avec ses élèves, présenter ses propres démarches lorsqu'il résout les exercices et accepter de dévoiler ses erreurs. De façon analogue, on pourra présenter l'histoire de la mathématique et des sciences comme un processus qui n'est pas terminé et qui demeure en continuel mouvement. Les personnes qui ont participé à son évolution sont des êtres humains limités dans leurs découvertes par la précision des instruments mis à leur disposition, dépendants de leurs émotions et de leurs intuitions, influencés par les priorités politiques et par le contexte socio-économique.

Les élèves

Si les élèves vivent l'expérience d'un succès en mathématique, en physique ou en chimie (réussir à comprendre un modèle mathématique ou une expérience de laboratoire, à appliquer une notion...) et qu'ils s'attribuent cette réussite, ils prendront lentement confiance en leurs propres capacités.

Si l'expression des émotions est acceptée par le personnel enseignant comme partie intégrante de l'apprentissage de la mathématique et des sciences, les élèves se sentiront davantage concernés par ces disciplines. Ils seront alors mieux disposés à fournir l'effort nécessaire et augmenteront leur motivation et leur confiance tout en diminuant leurs appréhensions et leurs réactions d'anxiété. En outre, une écoute plus attentive des élèves qui connaissent des difficultés d'apprentissage permet de constater qu'ils peuvent souvent s'exprimer sur ce qu'ils vivent à l'égard de la mathématique et des sciences; ils peuvent aussi très souvent expliquer leurs difficultés ou échecs qui proviennent généralement de problèmes d'adaptation lors de nombreux changements d'école, de conflits entre l'élève et le professeur ou la professeure, de pressions familiales, du contenu théorique de la discipline... En connaissant mieux l'origine des difficultés, nous pouvons intervenir de façon plus adéquate. Nous avons davantage prise sur les difficultés reliées à la discipline elle-même et sur celles qui relèvent de l'émotivité (Lafortune, 1987).

En démythifiant la mathématique et les sciences ainsi que ceux et celles qui en font, on peut créer une atmosphère détendue dans le groupe, transformer «l'angoisse de l'examen» en un sentiment moins stressant, permettre les échanges, susciter l'expression des émotions vécues dans le cadre de ces disciplines et ainsi modifier la représentation négative entretenue par l'élève à l'égard de la mathématique et des sciences.

L'utilisation d'activités de démythification de la mathématique, de la physique et de la chimie permet de démythifier la discipline, ses contenus théoriques, sa méthodologie, ses applications; de démythifier les scientifiques, leur démarche, leurs erreurs, leurs angoisses; de démythifier la représentation mythique que l'élève entretient à l'égard de la mathématique et des sciences.

6. Quelques expériences liées à une pédagogie démythifiante

L'expérience menée par Blouin (1987) en mathématique a montré que l'intégration d'activités visant à modifier les représentations négatives des élèves avait également un impact sur l'attitude du personnel enseignant, et donc l'ensemble de la relation pédagogique.

Gattuso et Lacasse (1986), dans leurs recherches auprès de mathophobes de niveau collégial, dégagent des solutions liées à la démythification. Dans ce sens, le personnel enseignant doit veiller à ce que les élèves puissent parler ouvertement de la matière, du professeur ou de la professeure, mais aussi de leur propre vécu en mathématique. Le personnel enseignant doit à son tour transmettre son vécu en mathématique, c'est-à-dire amener l'élève à s'identifier à la démarche d'interrogation, de recherche et de réflexion que l'enseignant ou l'enseignante effectue lorsqu'il aborde un problème mathématique.

Nimier (1985) conçoit la relation pédagogique comme la rencontre des représentations respectives que l'élève et l'enseignant ou l'enseignante se font de la discipline. Comme pédagogue, l'enseignant ou l'enseignante doit être ouvert aux diverses représentations des élèves. Cette ouverture a probablement un effet bénéfique sur la communication professeur-élève, ce qui facilite les apprentissages et modifie graduellement la représentation que l'élève entretient à l'égard de la discipline.

Lee (1986) ajoute que, pour intégrer des activités démythifiantes, le personnel enseignant ne doit pas être mystifié par les sciences, ni projeter une image mythifiante des scientifiques à ses élèves.

Des discussions en classe dépassant le contenu théorique de la discipline (stress à l'examen, peur des manipulations en laboratoire, etc.) permettent aux élèves d'exprimer les tensions qu'ils vivent et de se rendre compte qu'ils ne sont pas les seuls à les vivre. Le contact entre les membres du groupe devient alors plus stimulant, plus sympathique et plus facile à établir (Lafortune, 1988).

Par ailleurs, l'organisation d'un cours qui tient compte des tâches que les élèves ont à assumer dans les autres cours et qui se préoccupe de leur emploi futur leur fait sentir qu'on s'intéresse à leurs besoins réels. Alors, la relation professeur-élève se modifie et les élèves se sentent valorisés par cette façon de procéder qui reconnaît l'importance de leur travail (Lafortune, 1988).

Dans son dernier ouvrage, Baruk (1985) montre comment les façons de relever les erreurs sur les copies par des signes («?», «X», «!!!») et par des commentaires non significatifs peuvent entraîner une mauvaise interprétation de l'erreur et ainsi altérer la compréhension que l'élève a d'une notion mathématique.

Ces diverses expériences nous enseignent donc qu'une pédagogie démythifiante passe, entre autres choses, par l'intégration de données affectives (représentations respectives que le personnel enseignant et l'élève entretiennent à l'égard de la mathématique et des sciences) au sein même de disciplines dites exactes. De plus, même si les premières années d'enseignement amènent souvent à se conformer au modèle traditionnel dominé par le contenu théorique, nous croyons qu'il importe de faire appel à la créativité, à l'esprit de recherche et d'analyse et de favoriser l'expression des émotions suscitées par la mathématique et les sciences.

> *Diverses expériences nous enseignent qu'une pédagogie démythifiante passe par l'intégration de données affectives au sein même de disciplines dites exactes. Il importe donc de composer avec les aspects affectifs dans la relation pédagogique et de faire appel à la créativité ainsi qu'à l'esprit de recherche et d'analyse.*

7. Activités de démythification

Nous avons vu que les mythes créés autour de la mathématique et des sciences sont souvent responsables des attitudes négatives des élèves à l'égard de ces disciplines. De plus, la mythification est plus importante chez les adultes qui reprennent leurs études après plusieurs années d'absence.

Nous proposons ci-après des activités de démythification susceptibles de rendre plus positives les attitudes des élèves et de renforcer leur confiance de réussir. Ces activités ont été suggérées par le personnel enseignant du réseau collégial. Issues de sources diverses, elles devraient permettre de répondre à la diversité des expériences personnelles et professionnelles des adultes et aux différentes conceptions de l'enseignement de la mathématique et des sciences. Certaines pourront convenir à plus d'une discipline; elles se rattacheront alors davantage à l'affectivité. D'autres activités seront plutôt disciplinaires; elles s'attarderont au contenu théorique de la discipline en lien avec les mythes qui ont été créés et perpétués. Ces activités pourront prendre diverses formes:

— réflexions et discussions suscitées en classe pour diminuer les effets de mythes entretenus vis-à-vis de certains aspects de la mathématique et des sciences;

— moyens d'intégrer l'histoire de la mathématique et des sciences au contenu théorique afin de montrer que ces disciplines sont toujours en évolution, qu'elles sont constituées d'échecs et de succès vécus par des hommes et des femmes influencés par les valeurs politiques, économiques et sociales de leur époque;

— thèmes de discussion à aborder en classe à partir d'un texte, d'un vidéo ou d'un exposé. Ces thèmes peuvent dépasser le contenu théorique proprement dit et traiter du stress vécu lors d'un examen, de l'erreur en mathématique et en sciences, d'anecdotes historiques, des liens à faire avec le quotidien ou avec d'autres champs d'études;

— activités à utiliser lors d'un laboratoire de physique ou de chimie où les élèves apprendront à apprivoiser leurs peurs vis-à-vis de certaines manipulations;

— jeux rendant l'apprentissage d'une notion plus facile et plus détendu;

— conférences organisées permettant un meilleur contact avec le groupe;

— moyens de créer dans le groupe une atmosphère propice à l'expression des émotions suscitées par la mathématique et les sciences: stress, anxiété, plaisir, peur...

Notes de l'auteur

La démythification de la physique n'est pas un sujet nouveau. Au contraire, c'est une préoccupation qui ressurgit chaque fois que l'on discute de la perception qu'ont les gens des sciences.

De fait, les gens qui ne connaissent pas la nature de l'activité scientifique trouvent qu'il y a de nombreux aspects de la science, et de la physique en particulier, qui présentent un caractère mystérieux. Ils croient que les adeptes de ces disciplines font appel à un langage étrange, qu'ils utilisent des symboles bizarres, qu'ils étudient des phénomènes faisant intervenir des cordes et des poulies sans masse et sans friction, qu'ils négligent la présence de l'air, qu'ils cherchent des particules charmées et savoureuses, qu'ils contractent l'espace et dilatent le temps...

Bref, ces scientifiques semblent s'intéresser à un monde qui ne ressemble pas beaucoup à celui dans lequel ils vivent et, à ce titre, les activités qu'ils pratiquent sont de nature plutôt obscure.

Pourtant, ils savent tous que les résultats de leurs incantations savantes ont la réputation de décrire simplement la nature. On dit même qu'ils arrivent à prédire avec précision des événements à partir de formules dont seules les personnes initiées semblent comprendre le secret.

Mais d'où peut provenir une telle image du monde des sciences?

Les documents de vulgarisation exploitent souvent le côté fantastique de la science. Ils excitent l'imaginaire avec des perspectives futures sans limites en même temps qu'ils démontrent son côté pragmatique, concret, irréfutable, même indispensable, avec des réalisations passées et actuelles.

Par ailleurs, on sait qu'on n'attire pas l'attention des enfants en leur montrant des pages de calculs mais bien en faisant tourner des gyroscopes, en faisant voler des fusées, en leur faisant se dresser les cheveux sur la tête, et tout cela accompagné d'explications extrêmement simples.

Tous les professeurs et professeures de sciences s'entendent pour dire que les élèves sont plus attentifs et motivés lorsque l'enseignement des concepts est élaboré dans une perspective pratique. En effet, les grands principes de physique sont sans intérêt pour la plupart des élèves s'ils ne sont pas accompagnés d'exemples concrets.

Pour certains, un exemple concret signifie un exemple dans lequel les variables correspondent à des valeurs numériques. Pour d'autres, il faut non seulement utiliser les valeurs numériques et des termes courants, mais il faut surtout traiter les cas rencontrés dans la vie courante. Idéalement, il faudrait faire des applications de la science dans les domaines qui intéressent les élèves, tant dans leurs loisirs que dans leurs projets de carrière.

Mais est-ce toujours possible?

Les élèves voient souvent les sciences comme un domaine où peuvent encore se faire de grandes découvertes et ils désirent participer à ces merveilleuses aventures. Mais ils sont souvent déçus lorsqu'ils prennent contact pour la première fois avec les dessous du spectacle. Certes, il y a toujours cette fascination pour l'explication des phénomènes, mais il y a aussi toutes ces mathématiques, toutes ces conventions et tous ces concepts abstraits. Tout cela ne faisait pas partie du décor magique de leur enfance... Certains s'en accommoderont; d'autres pas. Convaincus qu'il ne peut y avoir de chef d'oeuvre gastronomique sans vaisselle sale, plusieurs retroussent les manches.

Or il y a ceux qui veulent parler des sciences sans en faire, et ceux qui veulent faire des sciences. Ceux qui ne se destinent pas à une carrière scientifique diront fréquemment que la physique est un domaine intéressant, voire fascinant, tant et aussi longtemps qu'on n'entre pas dans les détails et les méandres mathématiques. On entendra aussi le même commentaire de la part de ceux qui envisagent une carrière en science, à la différence que ceux-ci acceptent plus volontiers les exigences de la rigueur scientifique et toutes les subtilités mathématiques, convaincus que nous, professeurs et professeures pouvons, grâce à cela, leur inculquer non seulement des notions spécifiques à leur champ d'activité, mais aussi une méthode de travail, une autonomie intellectuelle, un sens critique et un bon jugement. C'est du moins ce genre d'arguments qui sont utilisés par plusieurs pour justifier que la physique fasse partie du curriculum des élèves.

Comme les notions spécifiques sont plus faciles à traiter et à évaluer que les objectifs généraux d'autonomie, de sens critique et de meilleur jugement, on néglige souvent les seconds au profit du premier. Par exemple, en ne traitant que des théories acceptées, on rate l'occasion de faire connaître la véritable dynamique des sciences, qui est la remise en question des théories et des expériences et l'élaboration d'arguments solides pour ou contre une théorie. Mais en revanche, on permet d'acquérir une certaine habileté à la résolution de problèmes et à l'application de ces théories.

Notre enseignement laisse souvent croire que les modèles que l'on traite dans les cours sont innés et que leur maîtrise devrait être aussi évidente que la façon dont on les développe dans les manuels. On sait que les manuels n'abordent que très rarement la dynamique de la recherche et l'évolution des concepts. Les profs, contraints à couvrir un programme étendu ne disposent que du temps nécessaire pour élaborer sur cet aspect de la démarche scientifique.

De plus, la formation qu'ont reçue les professeurs et les professeures qui enseignent présentement ne faisait que peu de cas de la dimension historique de la discipline. Seuls ceux qui manifestaient un intérêt particulier pour l'histoire des sciences et son épistémologie et qui ont investi leur temps dans l'étude de ces aspects savent à quel point cette lacune est souvent un obstacle majeur à la compréhension des concepts en physique.

Si, en plus d'enseigner des théories et des concepts de physique, on introduisait l'enseignement

de l'histoire, on pourrait peut être mieux situer la nature de la discipline. Cela permettrait également aux élèves d'évaluer leur intérêt et leur motivation sur un plan autre que celui du rendement scolaire.

Voici un éventail des questions que nous posent à l'occasion des élèves, mal à l'aise devant le caractère parfois exagérément affirmatif, plutôt qu'interrogatif, de nos manuels de cours et de notre façon d'enseigner.

— Comment fait la professeure ou le professeur pour connaître (toujours toutes) les réponses et les explications?
— Est ce que le professeur ou la professeure a eu de la difficulté dans l'apprentissage des concepts qu'il ou qu'elle enseigne (parfois aisément, parfois péniblement)?
— Le professeur ou la professeure a-t-il déjà eu un échec?
— Les simplifications, approximations et transformations qui semblent évidentes au professeur ou à la professeure l'étaient-elles autant aux découvreurs de modèles?
— Mais la théorie X, le modèle Y,
  • qui les a trouvés?
  • la découverte a-t-elle été le fruit d'un travail collectif ou solitaire?
  • combien de temps cela a-t-il pris?
  • combien de modèles intermédiaires y a-t-il eu?
  • étaient-ils tous valables?
— Comment les erreurs sont-elles perçues par les chercheurs et les chercheuses et par la communauté scientifique?
— Cette conception est-elle partagée par les professeurs et les professeures? Par les élèves?
— D'où viennent les hypothèses qui précèdent ou contraignent l'application d'un modèle?
— Est-ce que les scientifiques qui développent les modèles ont eu de la difficulté à découvrir ce qu'ils ou elles cherchaient?
— Leur démarche a-t-elle toujours été rationnelle et logique?
— Quelle est la part d'intuition dans la démarche scientifique?
— Si j'ai de la difficulté à comprendre en physique, est-ce que je peux quand même faire une carrière en science?
— L'intérêt personnel du chercheur ou de la chercheuse a-t-il eu de l'importance dans le choix et la conduite de ses recherches?
— Les pressions sociales ont-elles joué un rôle dans l'évolution des sciences?
— La mode est-elle absente du domaine scientifique?
— L'objectivité est-elle l'apanage des sciences et des scientifiques?
— Peut-on affirmer que la science a réponse à tout?
— Les chercheuses et les chercheurs dévoilent-ils aisément les travaux qu'ils poursuivent?
— Est-ce que la concurrence existe en science ou est-ce que tout le monde collabore à l'avancement de la connaissance sans chercher à en tirer un quelconque profit personnel, collectif ou national?
— Comment reconnait-on la valeur d'un chercheur ou d'une chercheuse? La valeur d'une recherche?

— L'opinion des scientifiques est-elle nécessairement meilleure que celle des profanes?
— La naïveté peut-elle caractériser les scientifiques?
— La fraude existe-t-elle en science?
— Comment l'histoire et l'enseignement des sciences ont-ils contribué à donner aux sciences l'image qu'elles possèdent aujourd'hui?
— Quelle image les médias, et particulièrement la télévision, par leurs reportages, leurs documentaires et leurs émissions d'information, donnent-ils de la science, des scientifiques et de leur travail?
— Pourquoi dit-on qu'il est de plus en plus important, même pour des gens qui ne se destinent pas à des carrières scientifiques, d'acquérir un minimum de connaissances scientifiques?

Ces questions peuvent sembler naïves et sans intérêt, mais elles indiquent à tout le moins une méconnaissance de la science et des scientifiques. Bien qu'on puisse ne pas reconnaître comme tels quelques-uns des mythes et des préjugés qui peuvent leur être associés, il n'en demeure pas moins qu'ils entraînent certaines attitudes et certains blocages qui ne facilitent pas l'apprentissage des sciences. Mais on doit s'attendre à ce que les réponses à plusieurs d'entre elles nécessitent la remise en question des attitudes, des préjugés et des prétentions des scientifiques et de la science.

La rédaction de ce recueil ne vise pas à donner des sciences une image pessimiste ou avilie. D'ailleurs, la conclusion de l'activité «La science est... (p. 125)» résume bien comment nous voulons faire connaître la science: «(...) La science n'est pas neutre, mais elle n'est pas coupable. Elle n'est pas méthodique, mais elle n'est pas irrationnelle. Elle n'est pas le moteur de toutes les formes de progrès, mais elle n'en est pas le frein». En fait, nous croyons que la science n'est pas indépendante des autres activités humaines. Comme l'art ou la politique, elle est liée à l'histoire de nos sociétés et elle a des traits détestables et d'autres beaux. Rejeter la science en bloc ou l'encenser aveuglément risque de conduire à l'obscurantisme; ce ne serait qu'une solution de facilité. Il faut critiquer la science de l'intérieur, et non la combattre. Elle est l'un des instruments —et pas le seul— qui nous permet de connaître le monde et qui contribue à le transformer.

Conscient que le programme actuel de physique ne laisse peu de place à la dimension historique ou épistémologique des sciences, nous ne pouvons nous attendre à ce que les les professeurs et les professeures exploitent intégralement toutes les activités et suggestions du présent recueil. Tout au plus peut-on espérer que ceux et celles qui ont déjà le souci d'introduire ces notions à leurs élèves continueront de le faire et qu'ils trouveront dans ces pages quelque matière intéressante. Mais surtout, nous souhaitons sensibiliser les autres à cette dimension de leur discipline et de leur enseignement et nous espérons que les textes et activités suggérés les inspirent.

Activités

portant sur la démythification de

la physique

1 L'alphabet est au français ce que la mathématique est à la physique

Mythe
En physique, ce qui compte, ce sont les formules.

Anti-mythe
Les formules mathématiques en physique, c'est comme l'alphabet en français. Si on ne sait pas décrypter le mot, on ne peut le lire. Mais même si on réussit à lire un mot, encore faut-il en connaître la signification pour pouvoir s'en servir.

Objectifs
Énoncer oralement, de façon complète et rigoureuse, les définitions ou concepts abordés durant les cours de physique. Améliorer sa participation aux cours de physique par une préparation adéquate.

Problématique
En physique, on étudie différentes manifestations de la nature que l'on essaie d'abord de décrire le mieux possible et, ensuite, d'expliquer. Or, pour décrire quelque chose, il faut des idées et des mots. Si un mot ne suffit pas pour exprimer l'idée, il faut en agencer plusieurs. Ces agencements ne peuvent pas se faire de façon aléatoire; il faut structurer les relations entre les mots de telle sorte qu'elles deviennent des phrases dont le sens soit conforme à la description que l'on veut faire. Souvent même, il faudra faire des liens entre les phrases, une seule phrase ne suffisant pas à dégager clairement ce qu'on désire exprimer.

Tout ceci peut sembler évident; mais qu'est-ce que cela a à voir avec la physique, les maths, les formules et les définitions?

Plusieurs élèves perçoivent la physique comme une affaire de formules que l'on doit connaître par coeur si l'on veut être capable de résoudre les problèmes. Mais il y en a tellement qu'il leur est très difficile de savoir laquelle est la bonne pour résoudre tel ou tel problème.

Les professeures et les professeurs savent que l'expression mathématique d'un concept, d'un phénomène ou d'une propriété physique n'est que l'aboutissement de réflexions souvent longues et pénibles, laborieuses et subtiles. Les «formules» sont la transcription sous une forme extrêmement synthétique d'idées, de concepts et de relations. Et dans ce domaine, les symboles mathématiques se prêtent mieux que les mots au travail qu'ont à faire les scientifiques sur ces réflexions.

Cependant, même si les mathématiques constituent un langage extrêmement puissant servant au «calcul» et pouvant parfois même conduire à la découverte de nouveaux concepts, il n'en

demeure pas moins que les «idées» que sous-tendent ces mathématiques s'expriment en mots. Par exemple, en physique, on parle de la force et non de F, de la masse et non de M, du potentiel électrique et non de V. C'est donc dire que toutes les formules où l'on retrouve ces symboles sont, pour le scientifique, un texte lisible sous forme abrégée et qui met en évidence le plus succinctement possible certains liens et certaines opérations applicables.

Puisque les quantités et les propriétés physiques de même que les concepts qui y sont associés sont souvent définis par les opérations qui permettent de les mesurer, une formule est souvent la version mathématique de cette définition.

Si vous demandez à un élève d'énoncer la deuxième loi de Newton, il répondra probablement « F = ma ». Si vous lui demandez de définir ce qu'est une force, il sera souvent incapable de répondre, sinon par des exemples. On peut comprendre que « F = ma » est la formulation mathématique de la deuxième loi de Newton, mais ce n'en est pas l'énoncé.

À la première question, l'élève aurait dû répondre: «Tout corps soumis à l'action d'une force externe différente de zéro subira une accélération proportionnelle à cette force.»

À la seconde, il aurait dû lire ou décoder la formule donnée comme première réponse. Voici donc à quoi aurait dû ressembler sa réponse: «Une force, c'est un vecteur dont la grandeur est égale au produit de la masse d'un corps par son accélération sous l'effet de l'action de cette force, la force et l'accélération ayant la même direction et le même sens.» On en conviendra, cette version est sensiblement plus longue que sa contrepartie mathématique, d'où l'énorme intérêt pour la formulation mathématique.

Les profs savent que l'aspect vectoriel des forces est ce qui présente le plus de difficultés aux élèves. Ils peuvent facilement en calculer la grandeur, mais quand vient le temps d'en déterminer l'orientation (direction et sens) ils bloquent souvent, déjà que de réussir à distinguer direction et sens n'est pas toujours évident...

Je crois que la résolution de problèmes n'est pas la seule façon d'aider les élèves à assimiler ce genre de concepts. Très souvent, ils savent faire de l'algèbre vectorielle, ce qui les bloque, ce sont les applications vectorielles en physique. Dire que le vecteur **B** vaut deux fois le vecteur **A** (**B** = 2**A**), ça va; mais que **B** soit une force, que 2 soit une masse et qu'**A** soit une accélération, alors là...

À mon avis, il est indispensable que les élèves expriment oralement ou par écrit ces définitions si l'on veut qu'ils puissent organiser de façon claire et cohérente toutes ces notions physiques et mathématiques.

Durée
Mini-test (forme orale): 30 minutes
Mini-test (forme écrite): 5 minutes

Déroulement de l'activité

Au début de chaque cours, administrer un mini-test dont les questions portent sur les concepts étudiés au cours précédent ou sur les concepts à étudier lors du présent cours, s'assurer que les questions ne nécessitent que des réponses courtes.

Le mini-test peut être utilisé sous la forme écrite ou orale. Le mini-test écrit est administré suivant les consignes d'un examen écrit traditionnel. Le mini-test oral emprunte une procédure particulière dont les directives sont décrites ci-après. Les élèves choisissent démocratiquement la forme du mini-test qui sera utilisée tout au long de la session

Prévoir 5% de la note finale pour les mini-tests.

Directives pour le mini-test de forme orale

- À chaque cours, deux à cinq élèves sont choisis au hasard pour répondre au mini-test. Le nombre d'élèves est relatif à la difficulté des questions retenues.
- Chaque élève choisi doit répondre à une question différente, oralement et en présence de la classe.
- L'élève a droit de prendre des notes.
- Avant d'évaluer si la réponse est bonne ou mauvaise, l'élève peut réviser sa réponse.
- Lorsque l'élève donne une réponse finale, le professeur indique «vrai» ou «faux».
- Si l'élève ne parvient pas à répondre correctement à la question, il peut demander de l'aide à la classe: appel à tous. Il n'a droit qu'à un seul appel à tous. L'élève qui lui vient en aide et qui répond correctement ne peut plus intervenir pour aider un autre élève en difficulté au cours de la présente ronde de mini-test. Une ronde de mini-test se termine lorsque tous les élèves de la classe ont répondu au mini-test, que ce soit en questionnant directement un élève ou en lui permettant de répondre lors d'un appel à tous.
- L'élève qui a donné une mauvaise réponse et qui n'a pas été secouru peut se racheter en participant à l'appel à tous. S'il réussit à secourir un autre élève en difficulté, il obtient un point.

Pointage

Une bonne réponse mérite un point et une mauvaise réponse ne donne aucun point.

Si une bonne réponse est donnée lors d'un appel à tous, l'élève secouru se mérite un point. Si une mauvaise réponse est donnée lors d'un appel à tous, l'élève secouru ne se mérite aucun point et celui qui est venu au secours ne perd ni ne gagne de point.

L'élève qui se porte à l'aide de celui qui est en difficulté mérite un point s'il répond correctement à la question.

Exemple

Question: Définir ce qu'est la force coulombienne.

Réponse: La force coulombienne est une force d'interaction entre deux particules ponctuelles; elle est proportionnelle au produit de leurs charges, inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare; elle agit le long de la droite qui les relie et elle est répulsive s'ils sont de même nature, attractive s'ils sont de nature contraire.

Correction: Si l'élève omet de mentionner qu'il s'agit d'une force entre deux charges, que les charges doivent être ponctuelles, que c'est inversement proportionnel au carré de la distance qui les sépare, ou n'importe quel élément de la direction et du sens de la force, sa réponse est refusée.
Dans un tel cas, avant de passer à l'appel à tous, il faut lui permettre de réviser sa réponse ou de prendre des notes, comme il le ferait dans un test écrit, afin qu'il s'assure d'avoir dit tout ce qu'il savait. Mais quand il indique que sa réponse est finale, alors vous dites «vrai» ou «faux», sans spécifier où est l'erreur. Il peut alors faire appel à tous. La même rigueur s'applique à la réponse de l'élève qui dépanne.

Notes/commentaires
J'ai expérimenté la forme orale du mini-test. Cette méthode n'est pas parfaite (en existe-t-il?), mais elle a donné des résultats étonnants aux examens, à la fois sur la capacité des élèves à répondre correctement à des définitions et à résoudre des problèmes. Je préfère la forme orale du mini-test.

En début de session, je demande à la classe de choisir entre la forme orale et la forme écrite du mini-test. Il est indispensable que l'atmosphère soit détendue si l'on veut que la séance soit productive. Le choix du test peut s'avérer un exercice démocratique joint à une discussion agitée. Plusieurs élèves manifestent leur phobie des exposés oraux; ce sont d'ailleurs ces élèves qui interviennent le plus lors de cette discussion. Je les laisse exprimer leurs arguments et je leur expose également les miens. Il m'est arrivé de signaler aux élèves qui exprimaient leur crainte de l'examen oral qu'ils se débrouillaient fort bien pour des gens qui craignaient de prendre la parole face à un groupe. J'insiste sur le fait que la forme orale du mini-test les avantage:

— ils peuvent obtenir l'aide des autres élèves;
— la correction étant faite sur le champ ils peuvent argumenter immédiatement des résultats de cette évaluation;
— l'expérience a démontré que la forme orale du mini-test leur assurait presque le maximum des points soit 5% du total des évaluations de l'expression.

Tout cela demande beaucoup de temps au début. Il faut compter qu'à chaque séance, on peut questionner entre deux et cinq élèves et, selon le choix des questions, il y aura deux ou trois «appel à tous». La durée moyenne des séances de mini-test est d'environ une demi-heure. Donc, selon que le groupe est plus ou moins nombreux, il faut quelques semaines pour compléter une ronde de mini-test, c'est-à-dire pour réussir à questionner tous les élèves. Mais cela vaut la peine parce qu'on habitue les élèves à dépasser le stade du «T's'é veut dire» ou du «c'est ça que j'voulais dire»; de plus on les fait pratiquer la rigueur du discours scientifique et on voit de la matière.

En outre, les élèves qui sont habituellement faibles ou qui ont tendance à céder rapidement au découragement sont souvent entraînés par la dynamique du groupe et ils se mettent à répondre aux questions et à préparer leur cours. Les discussions qui sont survenues au cours des mini-tests ont souvent été étonnantes quant à la richesse d'informations et de feed-back qu'elles m'ont apportés, tant sur la compréhension des élèves face à la matière et que sur ma façon d'enseigner. En fait, on apprend à mieux connaître les difficultés que rencontrent certains élèves, puisqu'ils les expriment eux-mêmes et spontanément.

Il arrive souvent que le groupe se rende compte des erreurs de la réponse et qu'il se prononce à la place du professeur sur le refus de cette réponse. C'est une situation assez intéressante où ce sont les élèves qui exigent de la rigueur de la part de leurs collègues.

Il y a même un groupe qui a demandé en cours de session d'étendre les mini-tests à toute la durée de la période de cours. La matière nouvelle qui avait été abordée durant le cours pouvait faire l'objet d'un mini-test sur-le-champ. Après réflexion et suite à une discussion très intéressante, j'ai accepté et je dois dire que cela s'est avéré très intéressant. En effet, on demande souvent aux élèves s'ils ont bien compris telle ou telle partie de l'exposé qu'on vient de faire, mais le plus fréquemment, on n'obtient pas de réponse ou celle-ci est vaguement affirmative, comme s'ils ne voulaient pas nous déranger dans notre lancée fulgurante vers les sommets de la science. Or, avec la version «allongée» des mini-tests, les élèves qui n'ont pas compris le disent plus volontiers. En effet, ils savent que je peux les questionner sur le sujet qui vient d'être traité s'ils ne me disent pas explicitement qu'ils n'ont pas compris.

Tout cela peut sembler très fastidieux et très coûteux en temps, mais il n'en est rien. Le temps qu'on prend pour débattre des réponses aux mini-tests est du temps investi qui profite immédiatement lors des exercices qui demandent une bonne compréhension des concepts et des définitions, c'est-à-dire la majorité des exercices. Les élèves structurent mieux leurs questions; ils réfléchissent davantage avant de les poser; ils sont plus détendus et plus confiants; ils sentent le soutien du groupe et ils percoivent mieux que l'enseignement, ce n'est pas seulement de l'évaluation, mais que c'est d'abord une relation d'aide à l'apprentissage. Ils acceptent et comprennent mieux que toutes les nuances, toutes les conventions et tous les symboles qu'on leur enseigne sont importants et nécessaires.

2 Relativiser l'évaluation dans les cours de sciences

Mythe
Les élèves considèrent que les résultats de l'évaluation de leurs performances en sciences sont les indicateurs les plus fiables pour mesurer leurs aptitudes intellectuelles et même parfois leurs chances de succès dans la vie.

Anti-mythe
Pour évaluer l'acquisition des connaissances, l'instrument privilégié est l'examen. L'examen est un instrument de mesure limité; il ne mesure fidèlement qu'un aspect de la formation dispensée, c'est-à-dire la capacité de l'élève d'utiliser un modèle dans un contexte restreint. En outre, l'étalon de mesure peut parfois être teinté de subjectivité.

Objectif
Relativiser l'importance de l'évaluation dans les cours de sciences en analysant la nature de l'examen, son objet de mesure, sa portée, de même que la nature des erreurs qui y sont commises.

Matériel
Texte: «La pédagogie c'est ça!» (pp. 32 à 33).

Problématique
Plusieurs élèves considèrent, à tort ou à raison, que l'évaluation de leurs performances dans les cours de sciences est plus scientifique, donc plus significative, que celle des autres disciplines. Par conséquent, ils accordent une importance souvent disproportionnée à leur note en sciences. Ils ont parfois tendance à «chauffer en sciences» au détriment de leur rendement dans les autres disciplines.

Certes, un profil en sciences à l'enseignement secondaire et collégial ouvre sur une multitude de choix de carrière. Mais à cette réalité les élèves greffent certaines croyances telles que: «les sciences ouvrent toutes les portes»; «si tu réussis en sciences, tu peux tout réussir»; «inscris-toi en sciences, et si ça ne marche pas, tu pourras toujours descendre en...».

Avec une telle image des sciences, l'élève crée un contexte où son résultat scolaire devient la preuve «physique et mathématique» de ses chances de succès en sciences, sinon dans la vie. On comprendra dès lors l'anxiété qu'une telle représentation des sciences peut générer lors d'un examen.

Bien qu'on puisse discuter longuement des conséquences de l'utilisation qui est faite de la note d'évaluation, les professeurs ont tout intérêt à relativiser aux yeux des élèves la signification et la portée de l'évaluation (texte: «La pédagogie, c'est ça!») . Le contexte d'une vérification

des connaissances récemment acquises est beaucoup moins stressant que la classification formelle et définitive de son statut social et intellectuel.

Les objectifs généraux des cours de physique (comme bien d'autres disciplines d'ailleurs), sont d'augmenter, en ce qui regarde les modèles physiques et leurs applications, l'autonomie, le jugement et la capacité de raisonner des élèves. Les objectifs spécifiques servent donc de prétexte à l'atteinte des objectifs généraux. Ainsi, nous faisons grand état de l'importance et de la nécessité du jugement et du raisonnement dans l'étude des phénomènes, des modèles et des théories physiques. Cependant, il est plus facile de montrer à résoudre un problème que de montrer à raisonner.

Voici comment se résume la difficulté de mesurer les objectifs généraux:

- Le jugement et la capacité de raisonner impliquent la capacité d'appliquer ses connaissances d'une théorie ou d'un modèle à la solution d'un problème.
- La capacité de solutionner un problème devrait impliquer la capacité de raisonner et le jugement.
- Les examens vérifient surtout la capacité de solutionner des problèmes.
- Donc, lors de la correction d'un examen, on postule que la solution des problèmes reflète la capacité de raisonner et le jugement.
- Ce postulat n'est pas toujours vérifié.

Les «profs» sont au fait que plusieurs élèves réussissent à trouver la solution à des problèmes sans savoir comment ils y sont parvenus. Ainsi, pour les reconnaître lors d'un examen, on leur en donne plusieurs à solutionner, en misant sur le fait qu'ils ne pourront tous les faire de cette façon. C'est en quelque sorte avouer que l'on ne mesure pas vraiment le jugement et le raisonnement nécessaires à la solution mais seulement la justesse de cette dernière; on illustre ainsi les limites de l'examen.

L'élève à qui l'on n'avoue pas ces limites risque d'interpréter sa note comme une mesure de son jugement et de son potentiel rationnel. Comment pourrait-il faire autrement, compte tenu de ce qu'on lui répète continuellement: «l'important, c'est de raisonner sur le problème à partir de nos connaissances d'une théorie ou d'un modèle»; «la réponse n'a qu'une importance secondaire par rapport à la démarche...»; «si ton raisonnement est bon, ton résultat sera bon.»

Durée

Cette activité ne peut se dérouler à l'intérieur d'un seul bloc de cours. C'est plutôt un discours que l'on doit tenir et répéter à plusieurs reprises au cours de la session, avant, pendant et après les évaluations.

Déroulement de l'activité

— Faire lire le texte «La pédagogie c'est ça» et amorcer une discussion sur le sujet

— Avant la période d'examen, rappeler:

- que le but de l'examen est de vérifier le niveau de maîtrise des connaissances récemment acquises;
- que l'examen constitue un ensemble assez restreint de questions;
- que ces questions sont choisies par une personne selon ce qu'elle juge de plus représentatif des sujets à maîtriser;
- que la performance sera évaluée selon ce que cette même personne considère être conforme aux objectifs fixés;
- que les notions qui seront abordées au cours de la session et évaluées lors des examens ne représentent qu'une faible partie des connaissances actuellement acceptées du domaine traité;
- qu'il est impensable de voir en détail l'ensemble des éléments théoriques et pratiques se rapportant à chacune de ces notions;
- que les objectifs du cours ne visent pas à assurer une connaissance parfaite de tous les sujets abordés mais une certaine maîtrise soit des concepts, soit des techniques méthodologiques associées à certaines branches de l'activité scientifique;
- que nous espérons cependant que la démarche que nécessite l'étude des différents sujets abordés dans les cours de physique contribuera à améliorer sa capacité de raisonner et son jugement.

Vu sous cet angle, un examen et l'évaluation qui en sera faite ont une portée restreinte qui reflète la limite inhérente à toute mesure.

On pourrait énumérer bon nombre d'éléments du même genre (ou de genres tout à fait opposés), mais il ne faut pas perdre de vue que l'on cherche ici à relativiser l'importance accordée aux examens et à l'évaluation.

— Après un examen:

Lors de la remise des résultats, faire la solution détaillée des problèmes de l'examen et indiquer en le justifiant le barème utilisé.

C'est alors l'occasion de signaler qu'un examen, ça s'analyse, et qu'on a intérêt à déterminer dès maintenant le type d'erreurs commises, si l'on veut éviter de les répéter.

Très souvent, les élèves qui ont mérité une faible note prétendent avoir coulé à cause d'erreurs qu'ils qualifient d'insignifiantes, comme l'absence d'unités, la notation vectorielle incorrecte, l'incohérence des symboles...

Nous savons que ces éléments sont des plus importants et qu'ils constituent des fautes aussi graves que l'absence de ponctuation, le mauvais accord des verbes avec les sujets ou l'incohérence des mots dans un texte. Cependant, ces fautes sont parfois le fait de l'inattention plutôt que de l'ignorance.

Afin de faciliter aux élèves l'analyse de leur performance, on leur suggère de classifier leurs erreurs en deux catégories: les erreurs d'attention et les erreurs de compréhension. On leur demande de dénombrer les fautes commises et de quantifier la perte de points correspondant à chacune des catégories. Par exemple, un élève qui ne savait pas convertir les km/h en m/s et qui aurait laissé la réponse sans unités devrait classer cette faute dans «compréhension». Celui qui a tout simplement oublié d'écrire les unités la classerait dans «inattention».

Notes/commentaires

Un professeur qui comprend les limites et la portée d'un examen n'hésitera pas à accorder une note de 100%. Refuser cette note à un élève, sous prétexte qu'il ne peut pas tout connaître, reviendrait à dire que l'examen lui permettait de vérifier toute la connaisssance sur le sujet évalué.

Au contraire, il pourrait même arriver qu'une personne mérite une note supérieure à 100% lorsque, par exemple, elle a démontré une maîtrise du sujet ou une originalité dans ses solutions qui dépassent l'objectif du cours. De la même façon, une note de 20% ne signifie aucunement qu'un individu est un cancre irrécupérable. Il faut mettre l'examen en perspective et déterminer quelles sont les causes de cette performance.

Généralement, les élèves constatent qu'ils n'ont pas coulé à cause des erreurs d'attention ou d'une correction trop sévère, mais plutôt parce que les solutions qu'ils ont produites n'atteignaient pas les objectifs. De plus, ils prennent conscience du type d'erreurs d'attention qu'ils sont susceptibles de commettre et, les ayant identifiées, ils peuvent plus facilement les éviter lors de l'examen suivant. Cette analyse a aussi pour effet de les rassurer, puisqu'elle permet d'identifier les véritables faiblesses et qu'elle élimine, à leurs yeux, le présumé arbitraire de l'évaluation.

LA PÉDAGOGIE, C'EST ÇA!

Il y a quelque temps, je recevais un appel d'un collègue me demandant si je consentirais à être arbitre dans la correction d'une question d'examen. Il était sur le point d'attribuer un zéro à un élève pour sa réponse à une certaine question de physique, alors que l'élève prétendait qu'il devait recevoir la totalité des points prévus à moins que le «système» ne soit établi contre lui. L'enseignant et l'élève s'étant mis d'accord pour soumettre le cas à un arbitre impartial, on me choisit.

Je suis allé au bureau de mon collègue et là, j'ai lu la question d'examen: «Montrer comment il est possible de déterminer la hauteur d'un grand édifice à l'aide d'un baromètre.»

L'élève répondit: «Montez le baromètre sur le toit de l'édifice, attachez-y une longue corde, laissez descendre le baromètre jusque sur la rue et, ensuite, remontez-le en mesurant la longueur de la corde. La longueur de la corde donne la hauteur de l'édifice.»

Je fis remarquer que l'élève avait un argument assez plausible pour qu'on lui accordât la totalité des points, car il avait répondu complètement et correctement à la question posée. Mais par contre, si une telle note lui était attribuée, cela le placerait en position privilégiée par rapport aux autres, ce que la réponse donnée ne pouvait justifier. Je suggérai donc que l'élève ait une autre occasion de répondre à cette même question. Je ne fus pas surpris de l'accord de mon collègue, mais je fus étonné d'une position similaire de la part de l'élève.

J'accordai donc six minutes à l'élève pour qu'il puisse répondre à la question, en l'avisant que la réponse devait démontrer une certaine connaissance de la physique. Cinq minutes s'étaient écoulées, et il n'avait rien écrit. Je lui demandai s'il voulait abandonner, mais il répondit: «Non.» Il avait plusieurs réponses à ce problème et il tentait de déterminer laquelle serait la meilleure. Je m'excusai et lui demandai de continuer. Dans la minute qui suivit, il griffonna cette réponse: «Portez le baromètre sur le toit de l'édifice et penchez-vous par-dessus le bord du toit; laissez tomber le baromètre et mesurez le temps de sa chute avec un chronomètre. Ensuite, calculez la hauteur de l'édifice en employant la formule $S = at^2/2$.»

Cette fois, je demandai à mon collègue s'il voulait abandonner. Il concéda et accorda à l'élève la presque totalité des points.

Je me préparai à sortir, mais l'élève me retint en me disant qu'il avait d'autres réponses à ce problème. Alors, je les lui demandai. «Ah oui!, dit l'élève. Il y a plusieurs façons de déterminer la hauteur d'un grand édifice à l'aide d'un baromètre. On pourrait, par exemple, sortir le baromètre lors d'une journée ensoleillée, mesurer la hauteur du baromètre, la longueur de son ombre et la longueur de l'ombre de l'édifice; puis, en employant une simple proportion, on pourrait calculer la hauteur de l'édifice.»

«Très bien, répondis-je. Et les autres?»

«Oui, dit-il. Il existe une méthode de mesure très fondamentale que vous aimerez. Selon cette méthode, vous prenez le baromètre et vous montez les escaliers. En montant, vous marquez la longueur du baromètre le long du mur. Ensuite, vous comptez le nombre de marques, et vous obtenez la hauteur de l'édifice en unités barométriques. C'est là une méthode très directe.

«Naturellement, si vous voulez une méthode plus sophistiquée, vous pouvez attacher le baromètre à un bout de corde, le balancer comme un pendule et déterminer la valeur «g» au niveau de la rue et au niveau du toit de l'édifice. La hauteur de l'édifice peut en principe être calculée sur la différence entre les deux valeurs obtenues.»

Finalement, il conclut qu'il existait plusieurs autres façons de résoudre le problème que celles mentionnées auparavant.

«Probablement la meilleure, dit-il, serait de prendre le baromètre au sous-sol et de frapper à la porte du concierge. Quand ce dernier répondra, vous lui parlez comme ceci: «Monsieur le concierge, j'ai ici un excellent baromètre. Si vous me dites la hauteur de cet édifice, je vous donnerai ce baromètre.»

À ce moment, j'ai demandé à l'élève s'il ne connaissait pas la réponse conventionnelle. À cette question, il admit que oui, mais rétorqua qu'il en avait marre de tous ces enseignants d'écoles secondaires et de collèges qui tentent de lui enseigner comment penser, comment employer la méthode scientifique, comment explorer les profondeurs de la logique du sujet à l'étude, et ce, d'une façon pédante, comme c'est souvent le fait dans la mathématique nouvelle, plutôt que de lui montrer la structure même du sujet traité.

De retour à mon bureau, je réfléchis longtemps à cet élève. Mieux que tous les rapports sophistiqués que j'avais lus, il venait de m'enseigner la vraie pédagogie, celle qui colle à la réalité. Avec de tels jeunes, je ne crains pas l'avenir.

Alexandre CALANDRA
Université de Washington
Saint-Louis, Missouri
Professeur invité par l'Université de Montréal

3 La science, ça m'intéresse, mais pas dans les cours

Mythe
Si j'aime écouter des émissions scientifiques mais que je n'aime pas les cours de science, c'est parce que les profs sont «plates», que les cours sont mauvais ou que la science... ce n'est pas pour moi.

Anti-mythe
Les intérêts et les qualités nécessaires pour faire une carrière scientifique sont différents de ceux nécessaires pour apprécier une émission ou des textes de vulgarisation scientifique.

Objectif
Faire la distinction entre les objectifs et les moyens d'une émission sur les sciences et les objectifs et les moyens d'un cours de science.

Matériel
Texte: «La science, ça m'intéresse, mais pas dans les cours» (pp. 35 à 36)
Voir aussi l'activité «La science telle qu'elle nous est présentée: fiction ou réalité» (pp. 66 à 67).

Problématique
Les élèves nous font souvent la remarque qu'ils aiment les sciences, mais que s'ils éprouvent de la difficulté dans leurs cours de sciences, c'est parce qu'ils ne sont pas intéressants et qu'ils sont trop loin de la réalité. Certains nous disent qu'ils voulaient se diriger vers une carrière scientifique, mais que ce qu'ils ont vécu dans leurs cours de sciences les a tellement désenchantés qu'ils préfèrent changer d'orientation.

Déroulement de l'activité
Discuter, à partir du texte, de la critique répandue que les cours de science ne réussissent pas à soutenir l'intérêt des élèves, alors que les émissions scientifiques réussissent à fasciner même les profanes, pour peu que ceux-ci veuillent bien se donner la peine de les écouter.

Les questions de l'activité «La science telle qu'elle nous est présentée: fiction ou réalité (p. 64)» peuvent servir à alimenter la discussion.

LA SCIENCE, ÇA M'INTÉRESSE, MAIS PAS DANS LES COURS

Les profs de science font face à une clientèle vivant dans un environnement télévisuel de plus en plus envahissant. Bien que l'on doive constater qu'il n'y a qu'une très faible proportion d'émissions à caractère scientifique, ce mode d'information (sous-exploité actuellement) n'est pas toujours propice à l'acquisition et à l'amélioration des connaissances du public telles qu'on les envisage dans le cadre des cours de science. Il déve-loppe souvent une attitude passive et il donne l'impres-sion d'avoir appris, alors qu'on a seulement entendu sans avoir pu comprendre ni assimiler l'information.

Il arrive souvent que des élèves me disent avec enthousiasme qu'ils ont écouté une émission scientifique dans laquelle on parlait «d'une patente qui faisait une affaire...pis c'était trippant au boutte.» Ils ont consommé tellement d'images qu'ils n'arrivent même plus à les digérer. Ils ont l'impression d'avoir fait un repas copieux, mais ils ont avalé l'information à une telle vitesse qu'ils n'en assimileront qu'une infime portion, faute d'avoir pu suffisamment mastiquer. Ils ont été fascinés par le sujet ou par sa présentation, mais ils ont énormément de difficulté à en faire un résumé «raisonnablement précis».

Plusieurs diront que c'est mieux que rien, d'autres que c'est pas grand-chose, d'autres, encore, que c'est déjà pas mal. Peu importe comment on évalue l'impact que peut avoir la télévision sur la perception qu'ont les élèves de la performance de leurs profs, les enseignants et enseignantes doivent être conscients que leurs cours sont maintenant jugés également par comparaison avec les productions télévisées... Et là, ils sont victimes d'une concurrence déloyale.

Comment le tableau noir peut-il rivaliser avec le poste de télévision?

Un élève me faisait remarquer qu'il s'était inscrit à un cours d'astronomie après avoir écouté la série «Cosmos» de Carl Sagan, mais qu'il avait été très déçu du cours parce qu'il s'attendait non pas à faire des calculs, mais plutôt à faire de l'observation d'étoiles et de galaxies.

Je lui répondis qu'effectivement, un cours d'astronomie et une émission sur l'astronomie, c'est très différent. Le spectacle que je peux offrir est assez peu flamboyant comparé à n'importe quel épisode de Cosmos. En effet, lorsque Sagan parle d'astronomie égyptienne, il se tient debout au sommet de la pyramide de Khéops; lorsqu'il parle de la période néolithique, il est au milieu de l'alignement de Stonehenge. L'instant d'après, on le voit à l'observatoire du mont Palomar, puis au Jet Propulsion Laboratory alors qu'on s'affaire à décrypter les toutes dernières images transmises par la sonde Voyager filant au voisinage de Saturne.

Pour ma part, afin d'agrémenter la présentation de mon sujet, je peux toujours projeter quelques diapositives, faire visionner des films et, à la limite, je peux même présenter les émissions de Sagan. Mais il faut dire que le budget dont je dispose pour produire un cours d'astronomie est assez limité. Sagan, quant à lui, dépensait en moyenne d'un million de dollars par émission; c'est assez pour être intéressant... De façon générale, les moyens mis en oeuvre pour la production d'une émission de télévision (même la plus «quétaine») ferait mourir d'envie n'importe quel prof de science.

Mais il y a d'autres éléments, plus fondamentaux ceux-là, qui distinguent l'émission d'information scientifique d'un cours de science. La première vise à informer le plus large public possible sur les réalisations de la science. Le second s'adresse à une clientèle inscrite dans un programme de formation scientifique. Son objectif est aussi d'augmenter les connaissances mais, surtout, de développer les aptitudes dans le domaine des sciences.

Donc, dans un cours, un prof ne peut se limiter à indiquer qu'il existe des théories expliquant le mouvement des planètes; il doit également expliquer ces théories de façon à ce que les élèves puissent les utiliser. Pour cela, les meilleurs outils sont le tableau et la craie ou, si on est plus «audio-visuel», l'acétate et le crayon marqueur. Et le langage le plus efficace, ce n'est pas l'image ou la musique, mais les mathématiques.

Il faut avouer que le spectacle d'un prof vous tournant le dos alors qu'il écrit au tableau est moins palpitant que le lancement d'une navette spatiale. Mais à quoi ressemblerait un épisode de Cosmos ayant pour objectif d'enseigner les lois de Kepler dans le but de faire calculer l'orbite de la Lune? Est-ce qu'une heure (avec des pauses publicitaires) suffirait? Quel site pittoresque associerait-on au calcul de la force centripète? Quel lieu

sacré romprait le charme qui pousse l'élève à annoncer froidement qu'il ne saisit pas ce qu'est le point Vernal, même après qu'on lui ait fait voir les plus belles illustrations des systèmes de référence liés aux sphères terrestres et célestes? Est-ce que le public apprécierait le calcul vectoriel?

Il y a autant de différences entre écouter une émission scientifique et faire de la science qu'il y en a entre écouter un match de boxe et disputer un match de boxe. Les deux concernent un sujet commun, mais l'activité est totalement différente. Le hockey, ou tout autre sport, aurait très bien servi aux fins de l'exemple, mais la boxe me semblait plus «percutante.»

Bien qu'on puisse dire que ceux qui pratiquent la boxe aiment généralement suivre un combat télévisé, il n'est pas vrai que ceux qui aiment la boxe télévisée aimeraient faire de la boxe. De la même façon, ceux qui font de la science aiment habituellement en parler ou en entendre parler. Mais même si la plupart des gens aiment entendre parler de science, ils ne sont pas tous intéressés à en faire.

Les personnes qui s'inscrivent à un cours de science doivent s'attendre à faire de la science, donc pas seulement à en entendre parler. Et cela n'est pas une mince affaire, car on ne le redira jamais assez: les concepts qu'on enseigne en quelques semaines ont nécessité des siècles d'ingéniosité, de travail et de discussion de la part des plus grands génies de la planète. C'est donc dire les efforts que doivent fournir les élèves dont on attend non seulement qu'ils sachent que de tels travaux ont eu lieu, mais aussi qu'ils en connaissent l'essentiel et qu'ils soient capables de s'en servir.

C'est là un défi de plus en plus lourd que les profs doivent relever avec les faibles moyens dont ils disposent.

Éditorial
par Yvon Fortin

4 À propos de soi

Mythe
Je n'ai pas ce qu'il faut pour réussir; pour les autres, c'est plus facile.

Anti-mythe
En analysant le contexte des échecs et réussites, on constate que la perfomance scolaire ne réside pas uniquement dans les habiletés intellectuelles de l'élève.

Objectif de l'activité
Jeter les bases d'une estime de soi, essentielle à la réussite.

Matériel requis
Journal de bord

Introduction
Selon les résultats de recherche d'Yves Blouin, traités de façon plus élaborée à l'activité «La réussite» (pp. 39 à 41), les principaux facteurs favorisant la réussite seraient les suivants: un effort continu, une bonne méthode de travail, la confiance en soi et la motivation. L'activité décrite ici concerne plus spécifiquement l'estime de soi et consiste à rechercher les qualités et les aptitudes qui peuvent constituer des points forts pour réussir.

Durée
1 heure

Déroulement de l'activité
Cette activité peut être amorcée en classe, puis se poursuivre individuellement tout au cours de la session.

Chaque élève commence son journal de physique en écrivant ses commentaires à partir des phrases suivantes:

- Ce que j'aime de moi...
- Je peux...
- Ce que les autres aiment de moi...
- Parler d'une réussite antérieure résultant de l'acharnement et de l'effort...
- Qualités que je crois indispensables pour réussir en physique...
- Mes qualités qui peuvent m'être utiles en physique...
- Mes habiletés qui peuvent m'être utiles en physique...

Par la suite, au fil des jours, on peut continuer son journal en y décrivant comment on se perçoit: parfois comme quelqu'un qui devrait abandonner la physique ou, au contraire, capable d'aller plus loin en mettant tout l'ardeur qu'il faut pour réussir.

Il devient alors intéressant et encourageant de constater l'évolution que l'on peut vivre au cours d'une session, particulièrement si l'on apprend à croire en ses capacités et à exploiter son plein potentiel.

Il importe d'apporter un suivi à cette activité, afin d'inciter les élèves à poursuivre ce journal de bord. Ce suivi peut prendre la forme d'un retour en classe, à quelques reprises pendant la session, pour la mise en commun des observations. L'enseignant ou l'enseignante incite alors les élèves à échanger sur la réussite en regard de la perception de soi, de même que sur l'importance de développer une attitude mentale positive en situation d'apprentissage.

Rédaction
Francine Gaulin

5 La réussite

Mythe
La réussite en physique est le fait d'un petit nombre de personnes.

Anti-mythe
Les notions scientifiques enseignées au collégial sont accessibles à l'ensemble des élèves. Pour réussir, l'élève doit consentir à investir temps et efforts de même qu'à collaborer avec l'enseignant ou l'enseignante pour faciliter son propre apprentissage.

Objectif de l'activité
Identifier les conditions nécessaires pour réussir en sciences.

Introduction
Il appert ici que le terme «réussite» a plutôt à l'assimilation de concepts, à la compréhension de la matière, en vue de retirer quelque chose d'utile de la formation scientifique. Le défi d'aujourd'hui, ce n'est plus tant d'emmagasiner le maximum de savoirs que de traiter intelligemment des informations provenant d'une quantité incroyable de sources.

Une recherche d'Yves Blouin résume bien les facteurs susceptibles de favoriser la réussite en sciences. Par extension, ils sont applicables à la chimie, puisque les attitudes manifestées par les élèves face à ces disciplines sont similaires. Ainsi, il apparaît que la réussite est proportionnelle à la motivation et à la détermination, à l'effort et à l'assiduité au travail, à la confiance en ses capacités, à une vision réaliste des sciences.

Les comportements résultant de la curiosité et de l'acharnement jouent en effet dans le sens de la réussite: persistance en cas de difficulté; recours, au besoin, à l'enseignant ou à l'enseignante; planification adéquate du travail scolaire; attention et concentration supérieures devant des tâches scolaires. En ce qui concerne la vision réaliste des sciences, Yves Blouin explique que les réactions émotionnelles, comportementales et motivationnelles ne dépendent pas tant de la réalité que de l'interprétation que l'on en fait, c'est-à-dire des attributions de causalité.

Ces attributions de causalité s'avèrent souvent irréalistes et défaitistes. Des croyances peuvent mener à une distorsion de la réalité. On attribue ainsi des résultats négatifs à un manque de talent; des résultats positifs à une matière facile. On perçoit les autres comme des «bollés», comme s'ils réussissaient sans travailler; on se croit inapte à faire des sciences parce qu'on doit fournir temps et effort. Pourtant, les sciences ne sont pas accessibles qu'aux soi-disant génies, mais à quiconque en manifeste l'intérêt et le désir; cependant, la compréhension, l'assimilation et la réussite ne sont pas gratuites, mais elles constituent le fruit d'un travail acharné et d'une volonté déterminée.

D'autres facteurs d'ordre personnel peuvent aussi intervenir dans la réussite scolaire. On peut se demander si une certaine représentation sociale de la réussite ne projette pas l'idée d'inaccessibilité. En effet, on a tendance à accoler au concept de réussite un sens superlatif: obtenir la meilleure note, gagner une compétition... Si l'élève a tendance à se disqualifier face à la réussite en physique, il est possible que cette représentation sociale de la réussite, le fait de l'élite, le décourage d'emblée. L'enseignant ou l'enseignante doit s'engager à démontrer que la physique est une discipline accessible, voire passionnante, et qu'on peut maîtriser cette discipline en consentant à y investir temps et efforts.

Enfin, il importe de mentionner le fait que les chances de réussite sont aussi largement influencées par l'origine sociale. En général, les enfants de familles économiquement défavorisées sont moins motivés et plus enclins à abandonner l'école ou encore à éviter les options scientifiques. Même les adultes demeurent empreints de cette influence sociale; c'est un facteur à considérer dans l'apprentissage.

Une prise de conscience de ses attitudes et comportements pourrait devenir un point de départ vers une meilleure compréhension de la physique tant pour ceux et celles qui désirent choisir une carrière scientifique que pour ceux et celles qui ne sont que de passage dans le monde des sciences. Tous et toutes pourraient en retirer le plaisir d'apprendre et profiter de l'acquisition des connaissances pour mieux comprendre leur environnement.

Durée
2 heures

Déroulement de l'activité
1. Répondre individuellement aux questions suivantes:

   - Quel est le but que je poursuis en étudiant la physique?
   - Quels sont mes objectifs de vie immédiats et à moyen terme?
   - Est-ce qu'il s'agit d'objectifs autodéterminés et actuels? Des objectifs inculqués par des proches ou par la société ne seraient pas adéquats ici, de même que des objectifs révolus. Il est fréquent que l'on mette beaucoup de temps à poursuivre des activités qui ne répondent plus aux objectifs actuels.
   - Est-ce que mes intérêts rejoignent ces objectifs?
   - Quelles étapes me permettront d'atteindre ces objectifs?
   - Quelles sont les difficultés majeures qui pourraient entraver ma réussite?
   - Comment vais-je m'y prendre pour surmonter ces difficultés?
   - Ai-je confiance de réussir? Pourquoi?
   - De quelle façon est-ce que je réagis face à un exercice difficile?
   - Est-ce que ma motivation est suffisante pour soutenir l'effort qu'il est nécessaire de fournir pour réussir?

2. Mettre en commun les résultats, verbalement et au gré des élèves, afin de constater que les craintes sont généralement partagées, de favoriser de nouvelles attitudes d'apprentissage et de mieux concentrer ses activités sur ce qui est en rapport avec ses objectifs de vie.

Discussion

À la fin, on peut réserver une courte période de mise au point individuelle, où l'on s'interrogera sur la question suivante:

À la suite de cet exercice, est-ce que je perçois différemment les conditions favorables à la réussite en physique?

Stratégie

Les discussions peuvent se faire en petits groupes, afin que l'on se sente plus à l'aise de parler de soi.

Références

BLOUIN, Yves. Réussir en sciences, rapport de recherche. Québec, Cégep François-Xavier-Garneau, 1986.

BOUCHER, Francine et Jacqueline AVARD. Réussir ses études: guide d'autogestion. Boucherville, Mortagne, 1984.

DIONNE, Bernard. Réussir au cégep. Montréal, HRW, 1986.

Rédaction

Francine Gaulin

6 Anxiété ou joie d'apprendre

Mythe
En situation d'apprentissage de la physique, je me sens généralement incompétent ou incompétente, ce qui ne me semble pas être le cas pour les autres élèves.

Anti-mythe
La plupart des élèves vivent des moments d'appréhension, de doute, et des sentiments d'incompétence en situation d'apprentissage.

Objectif de l'activité
Substituer aux croyances irrationnelles, qui entraînent des émotions et des comportements indésirables, des croyances rationnelles.

Matériel requis
Méthode de l'auto-instruction. (p. 45)

Introduction
Par cette activité, l'élève pourra constater que plusieurs personnes se pensent inaptes à faire l'apprentissage de la physique et vivent des émotions plutôt négatives au début d'une session. Il ne faut pas perdre de vue que les sentiments ne peuvent s'allier à la raison, mais il faut travailler à faire disparaître ses émotions négatives au profit de la confiance en ses capacités et au plaisir d'apprendre.

À cet effet, le rôle de l'enseignant ou enseignante devrait être de créer un climat détendu où la confiance et la communication sont favorisées de façon à minimiser les craintes. De plus, il ou elle se doit de convaincre de l'utilité des notions étudiées, ce qui peut jouer tant sur l'émotion que sur le rationnel. Certaines approches pédagogiques telle l'approche systémique ou l'approche thématique permettent de situer le contenu théorique dans la réalité de la vie quotidienne; ces approches pédagogiques constituent des moyens qui peuvent s'avérer efficaces pour intéresser les élèves et pour les persuader que l'on peut tirer profit d'un apprentissage.

Durée
1 heure

Déroulement de l'activité
1. L'enseignant ou l'enseignante liste au tableau le répertoire d'émotions qui décrivent comment on se sent devant des apprentissages nouveaux, spécialement si ceux-ci sont abstraits:

- inconfort, irritabilité, embarras, désolation, manque de confiance, peur, stupidité, anxiété, désespoir, frustration, ennui, sentiment d'infériorité, tristesse, colère;

  ou au contraire:

- satisfaction de relever un défi, plaisir d'apprendre même au risque de faire des erreurs, assurance de pouvoir faire appel à des connaissances déjà acquises, confiance en ses possibilités...

2. L'exercice consiste à réciter une série de mots ayant trait à la physique; les élèves décrivent au fur et à mesure les émotions provoquées par ces mots. Ils doivent écrire spontanément les émotions ressenties, sans noter les mots nommés par le professeur. Le rythme de croisière devrait être d'environ cinq secondes par mot.

3. L'étape suivante consiste à noter au tableau les émotions ressenties; il importe de cocher le nombre de fois qu'une émotion est nommée, afin d'en faire valoir l'importance...

4. Afin de faire place à des croyances rationnelles, utiliser la «Méthode de l'auto-instruction», (p. 45), et l'adapter à ses besoins.

Suggestion de mots déclencheurs d'émotion:
accélération — vecteur — coordonnées — force — travail — énergie — intégral — dérivé — graphique — pente — incertitude — rotation — équilibre — champ magnétique — courant — Kirchof — ondes — oscillateur — réfraction — électricité — oscilloscope — moment de force — moment d'inertie

Discussion
Échanger sur les idées suivantes:

- Nombreuses sont les personnes qui vivent des sentiments d'incompétence en situation d'apprentissage.

- Les croyances irrationnelles peuvent, avec le temps, faire place aux croyances rationnelles.

Stratégie
Si l'exercice ne semble pas déclencher suffisamment d'émotions, il peut se faire avec une quantité moindre de mots, dont les élèves écrivent une définition qui peut être intuitive; ainsi, une difficulté plus tangible permet d'entrer en contact avec les émotions habituellement ressenties en cours d'apprentissage.

Notes/commentaires
Un partage peut être fait en petits groupes afin que chacun et chacune puissent s'exprimer plus aisément. Cet exercice permet d'échanger sur l'anxiété vécue devant un apprentissage difficile et, à l'opposé, sur la joie de la réussite, afin de réaliser qu'on n'est pas bizarre, différent ou différente des autres dans ses réactions. Suite à cette réflexion, chacun et chacune sont en mesure de travailler à transformer leurs croyances irrationnelles en croyances rationnelles.

Rédaction
Francine Gaulin

Adaptation
Yvon Fortin

MÉTHODE DE L'AUTO-INSTRUCTION

Marche à suivre:

1. Faire l'inventaire des pensées négatives et irréalistes qui sont liées à une situation qui nous rend anxiogène;
2. les remplacer par des pensées positives;
3. se donner du temps pour s'améliorer en se rappelant que la répétition aide à maîtriser cette technique.

EXEMPLE: Entrevue d'embauche	
Pensées négatives	**Pensées positives**
1. J'ai peur de ne pas être à la hauteur.	1. Pourquoi pas? J'ai une formation, des qualifications intéressantes que je saurai mettre en valeur.
2. Et s'il me trouvait trop vieille, trop vieux?	2. Je devrais en profiter pour faire valoir ma maturité et mon sens des nuances acquis avec le temps.
3. Je n'ai jamais travaillé.	3. J'ai développé le sens de l'organisation dans diverses activités et le poste demande des compétences dans ce sens.

En fait, jouez à l'avocat du diable avec vos pensées négatives et trouvez des versions positives. Votre anxiété et votre façon d'aborder diverses situations seront sérieusement ébranlées.

EXERCICE 1

Expérimentez la méthode d'auto-instruction:

a) Déterminez une situation qui vous cause de l'anxiété;
b) dans un tableau semblable à celui proposé, énumérez les pensées négatives qu'elle vous apporte;
c) trouvez une ou plusieurs pensées positives pour combattre chaque idée négative.

EXEMPLE	
Pensées négatives	**Pensées positives**
1. J'ai passé l'âge d'entreprendre des études en physique.	1. Au fil des années, j'ai appris à structurer ma pensée, c'est un atout précieux en sciences
2. Je n'ai vraiment pas de don pour la physique.	2. La motivation me permettra de fournir du temps et des efforts pour réussir.

Référence
Québec, Direction générale de l'enseignement collégial. Transition-Travail: formation à distance, juillet 1988.

7 La motivation et la réussite

Mythe
Les élèves «doués» comprennent la matière nouvelle sans effort et du premier coup.

Anti-mythe
La compréhension et l'intégration de nouveaux principes ou phénomènes résultent d'un travail régulier et répétitif.

Objectif de l'activité
Observer que la compréhension se développe souvent par bonds, tels les sauts quantiques.

Matériel requis
Texte d'Yves Blouin: «Le rôle de la motivation». (p. 48)

Introduction
Le processus d'apprentissage se poursuit au moyen des cours, de l'étude et des révisions. Si les efforts sont constants, la compréhension d'un principe ou d'un phénomène peut survenir tout d'un coup... L'élève qui fournit un effort constant voit la compréhension surgir tout d'un coup. Tout semble comme s'il n'existait pas d'état intermédiaire.

Il faut parfois des heures, parfois des semaines de travail assidu pour comprendre à fond une notion nouvelle. Le processus d'infusion entre en jeu, c'est-à-dire qu'il faut du temps pour juxtaposer les pièces; vient un moment où celles-ci finissent par s'emboîter et se tenir ensemble pour donner l'image mentale convoitée. La boucle se ferme. Heureux moments de convergence intellectuelle!

Durée
1 heure

Déroulement de l'activité
Après avoir observé son propre style d'apprentissage au cours de l'activité «Processus d'apprentissage» (pp. 49 à 51).

1. Se remémorer un blocage, en physique ou dans d'autres disciplines, en faisant ressortir les moments de stagnation qui semblent parfois inutiles mais qui aboutissent, après un effort soutenu, à la compréhension.
2. Prendre connaissance du texte d'Yves Blouin concernant le rôle de la motivation.

3. Mettre en commun les différents points de vue sur le sujet par un échange d'idées.

Discussion

L'enseignant ou l'enseignante peut finalement fermer la boucle sur le mythe «du génie qui possède la science infuse» et rétablir les faits en rappelant que le travail assidu facilite la compréhension.

Référen ce

BLOUIN, Yves. Réussir en sciences: rapport de recherche. Québec, Cégep François-Xavier-Garneau, 1986.

Rédaction

Francine Gaulin

LE RÔLE DE LA MOTIVATION*

La discussion théorique que nous venons de terminer intègre des éléments motivationnels. L'étude d'un domaine qui nous met en état d'anxiété est nécessairement moins attrayante. Ou, quand on est convaincu de ne pas pouvoir réussir en sciences, l'intérêt à continuer diminue. Mais il y a d'autres aspects au concept de motivation que nous n'avons pas touchés.

En effet, même pour quelqu'un dont le fonctionnement intellectuel n'est pas paralysé par l'anxiété et qui adopte des comportements d'étude appropriés, réussir en sciences exige beaucoup de travail. Au niveau collégial, par exemple, on reconnaît que les cours de chimie, de physique et de mathématiques, demandent de trois à six heures de travail par semaine, en plus de la présence en classe. Règle générale, c'est plus que pour les autres cours.

Au nombre d'heures plus élevé, s'ajoute encore une autre exigence: on doit être capable de travailler régulièrement. Les examens étant nombreux, celui qui néglige ses études quelques semaines est vite débordé. De plus, la matière étant cumulative, ce qui est abordé en classe devient inaccessible pour celui qui n'a pas consolidé sa compréhension des cours précédents. On peut difficilement, comme en certains cours de Sciences humaines, rattraper sa négligence de toute une session en consacrant les jours et les nuits de la dernière semaine à faire une bonne dissertation.

Cette double exigence n'est pas unique à l'apprentissage des sciences. Mais elle y est présente à un niveau probablement plus élevé que dans les autres programmes d'études de niveau collégial. C'est probablement ce à quoi pensaient Demers et Lhull (1982) quand ils ont écrit que l'apprentissage des sciences peut servir à activer de nombreuses qualités personnelles, dont le «sens de l'effort».

En conséquence, il est assez peu probable que l'on réussira à se mobiliser pour tous ces efforts quotidiens, si on n'est pas fortement motivé par le but que constitue la réussite de ses études. En ce sens, la valeur ou l'importance accordée à la réussite scolaire serait une autre variable personnelle importante pour le succès de toute démarche d'apprentissage des sciences.

Un résultat de recherche effectuée en milieu collégial québécois appuie cette idée. Dans leur «recherche d'une explication aux abandons de cours de mathématiques au Cégep», Ste-Marie et Winsberg (1981) ont constaté que les «décrocheurs» accordaient moins d'importance que les persévérants aux études collégiales, mais pas à leur cours de mathématiques lui-même.

---

*Yves BLOUIN. Réussir en sciences: rapport de recherche. Québec, Cégep François-Xavier-Garneau, 1986, pp. 32 à 33.

8 Processus d'apprentissage

Mythe
La première fois qu'on m'explique quelque chose de nouveau en physique, je ne comprends rien.

Anti-mythe
La non-compréhension résulte d'un ou de plusieurs facteurs convergents, par exemple:

- l'explication est plus ou moins adéquate;
- les notions antérieures ne sont pas suffisamment intégrées;
- une mauvaise disposition mentale ou psychologique provoque la difficulté de concentration;
- le sentiment d'incompétence;
- etc.

Objectif de l'activité
Découvrir son style d'apprentissage.

Matériel requis
Tableau des profils visuel et auditif (p. 52), élaboré par Ghyslaine Meunier-Tardif, repris et classé par Ivon Robert selon les thèmes de la sensation, de la communic de l'apprentissage et de l'affectivité.

Introduction
Le processus d'apprentissage débute habituellement par l'acquisition du vocabulaire, la cueillette de l'information et la compilation sous forme de diagrammes, de listes, de plans ou de tableaux.

Le processus se poursuit durant l'étude, par l'assimilation des connaissances acquises: liens entre les différentes parties de la matière, synthèses.

Finalement, à travers les révisions se développe la capacité de transmission de l'information reçue et assimilée: rapports, travaux, examens.

Le processus d'apprentissage se trouve largement favorisé par une bonne concentration lors de l'étude. La capacité de concentration peut être améliorée en suivant les règles suivantes:

- N'étudier que lorsque l'état d'activation psychologique est favorable. Pour ce faire, il faut être capable de distinguer les moments de la journée où l'on est le mieux disposé à travailler et ceux où l'on ressent plus de fatigue.

- Alterner l'étude et la détente. Lorsque l'on constate que la concentration est amoindrie, se permettre une pause avant de poursuivre l'étude.

Enfin, il est important de savoir que l'intégration d'une information est d'autant meilleure que le nombre d'apprentissages est élevé. Il ne s'agit pas là d'une répétition mécanique, mais d'une réactivation intelligente de l'information. Il est donc important de respecter la loi de la répétition et de consacrer du temps à la révision des acquis. Une première réactivation de la matière devrait se faire le plus tôt possible après un cours; une seconde réactivation, dans les jours qui suivent; et des réactivations subséquentes, à des intervalles de temps qui peuvent être de plus en plus espacés.

Une fois que le processus d'apprentissage est connu, il peut être intéressant de constater qu'il existe différents styles d'apprentissage. Un classement proposé par le neurologue montréalais Raymond Lafontaine a fait l'objet de nombreuses recherches. Selon cette théorie, chaque personne présenterait un profil neurosensoriel distinct. Cette distinction entraînerait des différences sur le plan de l'intégration des informations.

Durée
1 heure

Déroulement de l'activité

1. L'enseignant ou l'enseignante explique le processus d'apprentissage tel que présenté dans l'introduction de la présente activité.

2. Ensuite, on peut tenter de découvrir différents styles d'apprentissage à partir d'expériences antérieures relatées par les élèves; utiliser des exemples où l'apprentissage s'est avéré assez difficile, mais où il a finalement conduit à la compréhension et au succès.

3. Consulter le tableau des profils visuel et auditif (p. 52), afin d'identifier individuellement sa façon de fonctionner, pour ensuite reconnaître des attitudes qui décrivent le style d'apprentissage de chacun et chacune.

Discussion
L'activité a-t-elle permis de constater que chaque personne a sa façon propre de fonctionner, et qu'il est tout à fait normal de traverser des périodes longues et difficiles pour assimiler des notions nouvelles?

Notes/Commentaires
Pour un travail plus approfondi, les enseignants et enseignantes peuvent utiliser le Questionnaire de détermination du profil neurosensoriel, réalisé par Ivon Robert. Ce document est vendu 1 $ l'exemplaire au Centre d'Animation et de Consultation en Psychopédagogie Ivon Robert, 612, rue Green, Saint-Lambert, Québec, J4P 1V7.

Références

BOUCHER, Francine et Jacqueline AVARD. Réussir ses études: guide d'autogestion. Boucherville, Mortagne, 1984.

ROBERT, Ivon. La pédagogie des auditif-ves, visuel-les et audio-visuel-les. (s.l.n.d.).

Rédaction

Francine Gaulin

Caractéristiques des profils visuel et auditif aux plans de la sensation, de la communication, de l'apprentissage et de l'affectivité (Meunier -Tardif, 1979)

SENSATION	
Visuel	**Auditif**
1. Oreilles filtrées par les yeux	1. Yeux filtrés par les oreilles
2. Court moment sans voir mère	2. Entendre la voix suffit
3. Tactile	3. Rêveur
4. Hypersensible aux caresses	4. Harmonieux dans les caresses
5. Chatouilleux	5. Moins chatouilleux
6. Vit pour manger	6. Mange pour vivre

Visuel	**Auditif**
7. Rapport direct	7. Rapport indirect
8. Apparence importe	8. Apparence n'importe pas
9. Volubile	9. Mesure ses paroles
10. S'extériorise	10. Se renferme
11. Profondeur non apparente	11. Profondeur avouée
12. Apparence extérieure soignée	12. Apparence extérieure laisse parfois à désirer
13. Incrédulité	13. Naïveté
14. Des objets aux personnes	14. Des personnes aux objets
15. Veut plaire à autrui	15. Ne s'en préoccupe pas
16. Invite l'autre, l'attire	16. Ne s'ennuie pas seul
17. Communique par l'objet	17. Communique par le raisonnement
18. Bluffeur	18. Demeure lui-même
19. S'agite	19. Ne perd pas son calme

Visuel	**Auditif**
20. Souci du détail	20. Globalité
21. Action-réflexion	21. Réflexion-action
22. Moment présent	22. Mise sur le temps
23. Concret	23. Abstrait
24. Veut être utile immédiatement	24. Veut être utile à long terme
25. Travaux utilitaires	25. Pas nécessairement utilitaire
26. Le mot, la lettre	26. L'esprit
27. Habileté manuelle	27. Habileté intellectuelle
28. Imitation	28. Personnalisation
29. Mémoire photographique	29. Mémoire auditive
30. Dessin, schéma	30. Texte, fiche technique
31. Encadré	31. Moins encadré
32. Problèmes à l'élémentaires	32. Problèmes au secondaire
33. Sciences exactes, leadership	33. Sciences humaines, arts
34. Doit vivre l'expérience	34. Se fie aux autres
35. Réussite personnelle	35. Réussite collective
36. Programmé	36. Aime être laissé libre
37. Dérouté par changement d'horaire	37. Bohème
38. Moins le sens du danger	38. Connaît le danger
39. Explore sans méthode	39. Explore à condition de viser un but
40. De la quantité à la qualité	40. De la qualité à la quantité
41. Détente en changeant d'activité	41. Détente en se reposant

Visuel	**Auditif**
42. Monopolisateur	42. Autonomiste
43. Se sent concerné	43. Ne se sent pas concerné
44. Blâme l'autre	44. Se blâme
45. Angoissé, anxieux	45. Dépressif
46. Peurs - accidents	46. Peurs - autres motifs
47. Descentes et remontées rapides	47. Descentes et remontées lentes
48. Biens matériels	48. Confort et sécurité affective
49. Timidité: comportement hyperactif ou hyperrenfermé	49. Timidité: comportement hyperactif ou hyperrenfermé
50. Désorganisé par la maladie	50. Déçu par la maladie
51. Hospitalisation marque	51. Hospitalisation ne marque pas
52. A moins confiance en lui et aux autres	52. Fait confiant et fait confiance

9 Réussite femmes-hommes

Mythe
Les hommes ont plus de facilité pour les sciences que les femmes.

Anti-mythe
Les habiletés à caractère scientifique ne sont pas attribuables à un genre en particulier. Le fait que le domaine scientifique ait été accaparé traditionnellement par les hommes est attribuable à des facteurs sociaux: la socialisation différenciée des hommes et des femmes; le rôle de l'éducation des enfants traditionnellement dévolu aux femmes; les idées erronées quant aux effets de la pratique d'une carrière en science sur la santé de la femme, etc.

Objectif de l'activité
Reconnaître que les aptitudes pour les sciences sont semblables pour les femmes et les hommes.

Déroulement de l'activité

1. Élaborer et distribuer un questionnaire pour évaluer la perception des élèves face à leurs aptitudes en physique. Faire la compilation.

2. Faire les démarches nécessaires pour obtenir les notes de physique des groupes des sessions antérieures, en vue de démontrer que les femmes réussissent aussi bien que les hommes. Du fait que les chiffres proviennent de l'institution même où les élèves étudient, la crédibilité devrait en être renforcée. Avec ces chiffres à l'appui, faire constater que les femmes ont des perceptions erronées quant à leurs aptitudes en physique, qu'elles ont autant de compétence pour réussir que les hommes, comme les statistiques l'indiquent.

3. Préparer un article sur ce thème pour le journal du cégep.

Référence
CENTRALE DE L'ENSEIGNEMENT DU QUÉBEC. Pour des rapports égaux femmes-hommes: semaine d'intervention pédagogique du 1er au 18 mars 1981, cahier pédagogique, (s.l.n.d.).

Rédaction
Francine Gaulin

10 Femmes en sciences

Mythe
Les hommes sont plus doués que les femmes pour étudier et pour travailler en sciences.

Anti-mythe
Les femmes qui s'orientent en sciences peuvent réussir aussi bien que les hommes. Ce sont des barrières culturelles qui freinent les femmes de science dans leur carrière et non pas des barrières intellectuelles.

Objectif de l'activité
Prendre conscience de la possibilité pour une femme de faire un choix de carrière scientifique.

Matériel requis
- Texte: «Faire de la science pour changer quelque chose» (pp. 56 à 58)
- Michèle Berthelot: «L'accès des filles au cégep» (pp. 59 à 62)

Introduction
Le premier des textes qui suivent (pp. 56 à 58) illustre l'expérience vécue d'une femme qui a décidé de concilier maternité et carrière scientifique. Le deuxième texte (pp. 59 à 62) présente une réflexion de Michèle Berthelot concernant la position des femmes devant les applications technologiques des sciences; même si l'on informe les femmes de l'éventail de choix de carrières traditionnellement réservées aux hommes, elles continuent à démontrer plus d'intérêt pour les sciences de la santé que pour les sciences physiques et appliquées.

Durée
1 heure

Déroulement de l'activité
Inviter une femme de sciences à venir parler de son expérience d'étudiante et de travailleuse dans un contexte encore empreint de l'exclusivité masculine.

En s'inspirant des textes supports, on peut préparer cette entrevue en dressant une liste de questions que l'on aimerait poser à l'invitée, par exemple:

- Quelles difficultés a-t-elle éprouvées?
- Comment s'est fait son choix de carrière?
- Sa famille l'a-t-elle appuyée dans son choix?
- Si cette femme vit avec un conjoint, comment accepte-t-il sa carrière?
- S'il y a lieu, comment arrive-t-elle à concilier sa vie de mère et sa vie de scientifique?

- Pourquoi retrouve-t-on si peu de femmes qui mènent une carrière scientifique?
- Les femmes sont-elles plus attirées vers les applications à caractère social que celles à caractère technologique?

Discussion
Quelle conclusion peut-on tirer de cette entrevue?
Les femmes sont-elles aussi aptes que les hommes à étudier et à travailler dans le domaine des sciences?

Notes/commentaires
Pour trouver une femme de science intéressée à participer à une rencontre avec le groupe-classe, il est possible de:

- communiquer avec l'université la plus rapprochée ou avec une industrie de la région;
- consulter le «Bottin de la Recherche» publié par la revue Interface; on y trouve un répertoire alphabétique (nom, adresse, numéro de téléphone) de personnes travaillant dans le monde scientifique, un index par discipline et un inventaire des institutions;
- consulter le document suivant: QUÉBEC, Ministère de l'Éducation, Coordination à la condition féminine. Répertoire de conférencières en emploi non-traditionnel. Québec. (s.d.)

Rédaction
Francine Gaulin

10.1 KAREN MESSING: FAIRE DE LA SCIENCE POUR CHANGER LES CHOSES*

Dans les recherches de Karen Messing, généticienne à l'Université du Québec à Montréal, c'est l'être humain qui compte d'abord et avant tout. Cette chercheuse a d'ailleurs obtenu une formation en sciences humaines (baccalauréat en psychologie de l'Université Harvard) avant d'opter pour les sciences appliquées (maîtrise en génétique et doctorat en biologie de l'Université McGill). Elle s'intéresse depuis plusieurs années aux effets des radiations ionisantes sur l'humain. Une humaniste (et féministe...) à rencontrer.

Américaine, elle vit au Québec depuis que, en 1965, elle est «tombée en amour avec Montréal». Anglophone, elle travaille en français. Issue d'une famille bourgeoise (mère artiste, père cadre supérieur dans une grande compagnie), elle fait de la recherche avec et pour des travailleuses et travailleurs. Et comme cette spécialiste de la génétique des champignons n'en est pas à un paradoxe près, elle s'intéresse en fait à l'être humain en milieu de travail.

«Il y a pourtant des jours, avoue Karen Messing, où ce serait tentant de rester au laboratoire, à faire de la recherche classique, plutôt que d'aller sur la ligne de feu...»

Mais comme codirectrice du Groupe de recherche-action en biologie du travail (le GRABIT, pour faire court à défaut de faire joli), à l'Université du Québec à Montréal, la docteure Karen Messing s'y retrouve très souvent sur «la ligne de feu». Et même quand elle est dans son labo du pavillon des Sciences, à l'UQAM, elle ne fait pas seulement de la recherche classique. Elle fait de la recherche pour changer des choses.

Sa première expérience en milieu de travail? Elle date d'une dizaine d'années. L'UQAM vient alors de signer un protocole de services (encore en vigueur aujourd'hui) avec les deux grandes centrales ouvrières du Québec, la CSN et la FTQ. Un syndicat, regroupant des travailleurs exposés à une poussière radioactive dans une usine d'affinage de métal, se prévaut de ce protocole pour demander une étude sur les problèmes de santé auxquels ses membres s'exposent en respirant cette poussière. Les travailleurs se demandent notamment s'ils ne risquent pas, à cause de cette exposition, d'avoir des enfants anormaux. Sur les quatre membres de l'exécutif syndical qui ont des enfants, quatre (vous avez bien lu: quatre sur quatre) ont eu des enfants souffrant d'une malformation congénitale plus ou moins grave. La femme d'un autre membre de l'exécutif est enceinte de jumeaux, à ce moment-là; un de ses deux bébés naîtra, lui aussi, avec une malformation congénitale!

«Ça a été mon premier contact avec la génétique appliquée à la santé au travail» se rappelle Karen Messing.

Un contact brutal: du coup, la génétique n'est plus seulement une belle science un peu abstraite. Et un contact difficile: allez dire à quelqu'un qu'il est en quelque sorte le «responsable» de la malformation congénitale de son enfant..

L'étude commence tant bien que mal. On découvre un taux «élevé» de malformations chez les enfants des travailleurs exposés. Mais l'échantillon est très petit, probablement pas représentatif, et il serait hasardeux de tirer des conclusions solides sur le plan scientifique. L'équipe de l'UQAM voudrait faire une étude plus fouillée. Elle demande l'aide à des collègues «Surprise! raconte Karen Messing. On voulait bien collaborer, mais personne ne voulait publiquement associer son nom à ce travail.»

Finalement la compagnie réussit à renvoyer la recherche aux calendes grecques en proposant au syndicat (qui accepte, et on le comprend bien) d'installer un système de ventilation dans l'usine. On ne saura donc pas si les fameuses poussières radioactives causaient effectivement des malformations congénitales. Mais l'intervention aura débouché, indirectement sur un résultat tangible: supprimer une nuisance à la source, ou à tout la moins la réduire.

Depuis cette première recherche, Karen Messing et ses collègues du GRABIT ont fait beaucoup de chemin. Pour s'imposer, au fil des années, comme une des équipes les plus musclées —et les plus respectées— dans le domaine de la santé au travail. Articles dans les revues internationales, subventions généreuses, personnel nombreux (30 personnes, dont 5 chercheuses principales): la «machine» tourne à plein rendement. Le GRABIT a le statut d'équipe associée à l'IRSST (Institut de recherche en santé et sécurité du travail), ce qui lui vaut une subvention de plus d'un demi-million de dollars pour deux ans et demi. Pas mal, il faut le reconnaître,

pour des travaux qui n'auraient pas suscité pour cinq cents d'intérêt il y a seulement quinze ans!

Dossier principal de Karen Messing depuis dix ans: l'effet des radiations ionisantes sur l'humain, à forte mais aussi à faible dose. L'étude est menée en parallèle chez les travailleurs de la centrale nucléaire de Gentilly et chez les techniciennes d'un hôpital de Montréal. Le problème est analysé de deux façons: en laboratoire, sur des globules blancs prélevés chez des personnes exposées, et sur le terrain, grâce à un questionnaire sur les suite des grossesses des travailleuses exposées à des radiations en milieu hospitalier.

La première approche est plutôt complexe. Elle fait appel à une technique très nouvelle qui permet de caractériser, au niveau moléculaire, une mutation génétique très particulière, la mutation HPRT. Une prise de sang et on rentre tranquillement travailler au laboratoire, au milieu des éprouvettes et des ordinateurs! Après avoir isolé les lymphocytes, on les fait pousser dans un milieu qui ne laisse vivre que les cellules mutantes. Et le tour est joué. C'est ce qu'on appelle de la science pointue, séduisante et au goût du jour. Et c'est de la science bien financée, non seulement par l'IRSST, mais aussi par les organismes subventionnaires habituels.

L'autre approche, où on utilise un questionnaire, est un peu moins spectaculaire sur le plan scientifique. D'ailleurs, elle n'est pas subventionnée comme telle, quoique l'IRSST accepte que cette recherche soit exécutée dans le cadre du projet sur les radiations. Aussi progresse-t-elle moins rapidement que la recherche sur les mutations génétiques des globules blancs.

Cette seconde approche a cependant donné lieu à des observations intéressantes pour ce qui touche les problèmes dont souffrent effectivement les travailleuses interrogées, qui parlent plus volontiers des cadences de la production ou des masses à soulever que des radiations. «Nous n'aurions jamais su ça si nous nous étions contentés d'étudier les lymphocytes», commente Karen Messing, notant au passage à quel point il est difficile de financer certaines recherches. «Plus on s'intéresse à l'expérience quotidienne des gens, à leurs conditions de travail concrètes, moins il est facile d'obtenir des subventions.»

Cela dit, le laboratoire continue de passionner la scientifique. Son année sabbatique, elle l'a passée à l'Institut du cancer de Montréal au sein de l'équipe du Dr Bradley, à élaborer la méthode de dépistage de la mutation HPRT. «C'est une technique excellente, dit-elle, la seule actuellement qui permette d'étudier des cellules vivantes. Il s'agit d'un indicateur d'exposition qui peut permettre éventuellement d'identifier l'agent responsable d'une mutation. Mais c'est une technique très complexe, délicate. De plus, cette mutation HPRT n'est associée à aucun cancer. Le test ne permet pas de dire quoi que ce soit à un individu sur ses risques personnels d'être atteint du cancer.»

Les premières études ont porté sur des groupes de personnes exposées à des doses élevées de radiations. On a alors trouvé, comme dans toutes les études du genre, une relation entre la dose reçue et l'importance de l'effet mutagène. Les études ont ensuite porté sur des personnes exposées à des petites doses de rayonnements ionisants. Résultat étonnant et toujours inexpliqué: l'effet mutagène est beaucoup plus élevé que prévu. Il semble proportionnellement plus fort pour de expositions à des doses faibles que pour des expositions à des doses importantes de radiations.

Curieux? «Sans doute, admet la chercheuse. Mais ce n'est pas étonnant que nous ayons trouvé quelque chose de nouveau: nous sommes les seules à posséder une technique pour étudier spécifiquement l'effet génétique d'une exposition à de si faibles doses de radiations.»

Karen Messing —et le nom du groupe qu'elle dirige conjointement avec la neurophysiologiste Donna Mergler le dit bien (les trois autres chercheuses principales sont la généticienne Hélène Dubeau, l'ergonome Nicole Vézina, et l'épidémiologiste Jennifer Ratcliffe)— Karen Messing fait de la recherche-action, de la recherche engagée. «Pas de la recherche suivie d'action, spécifie-t-elle, mais de la recherche qui intègre, à toutes les étapes, les sujets de la recherche.»

N'y a-t-il pas un risque de biaiser les résultats, de trouver des problèmes là où il n'y a même pas de «bobo»? «On ne peut nier que ce risque existe, admet la chercheuse, mais je crois qu'il est surestimé. Par exemple, les travailleuses d'hôpital sont autant et même plus intéressées à apprendre qu'elles ne risquent rien avec les radiations, plutôt que d'apprendre le contraire. Elles n'ont donc pas nécessairement tendance à déclarer plus de problèmes de santé qu'elles n'en éprouvent.»

Il faut dire aussi que cette recherche engagée permet parfois de poser des questions sous un éclairage nou-

vers. C'est d'ailleurs ce que les chercheuses du GRABIT ont fait en «revisitant» ce vieux problème des ghettos d'emplois féminins.

Leurs recherches au sein de l'industrie du poisson et des abattoirs de volaille avaient montré que les postes féminins sont surtout des postes où les cadences sont rapides, le travail répétitif et la posture: «debout-immobile». Les effets de ces conditions de travail sur la santé sont notoires: épuisement, nervosité, stress, maux de dos, de bras, de jambes... Tout cela parce que les femmes n'ont pas de chromosomes Y? Tout cela parce qu'elles rapportent plus de symptômes que les hommes, parce qu'elles se plaignent davantage? «Pas du tout, explique la généticienne. Nous avons examiné les postes de travail dits désexisés et nous avons vu que les hommes qui font le même travail que les femmes se plaignent des mêmes maux que les femmes.» Comme on dit: à travail égal, souffrance égale...

Karen Messing évoque encore et encore d'autres recherches, d'autres enthousiasmes, d'autres projets —comme celui de travailler au sein d'une équipe solide, chaleureuse, composée à 90% de femmes toujours prêtes à collaborer entre elles. Ou le souhait de voir plus de fonds de recherche réservés aux problématiques définies par des groupes sociaux —comme c'est le cas des syndicats dans le cadre du protocole UQAM-CSN-FTQ. Les questions posées par ces groupes ne sont pas toujours «orthodoxes», mais elles assurent un renouvellement de la créativité de la recherche.

Toutefois, Karen Messing ne saurait éviter d'évoquer au moins une déception, et de taille: l'abandon, en 1986, du beau et important projet de la Maison des sciences et des techniques de Montréal. Nommée membre du conseil d'administration deux ans auparavant — «(...) sans doute parce qu'on nommait d'un même coup une féministe, une syndicaliste, une scientifique en exercice, une femme et une anglophone », dit-elle en souriant —, elle s'était engagée à fond dans le projet. «Je voyais déjà ce musée comme une maison où tout le monde se sentirait à son aise. Je ne l'imaginais pas comme un gadget merveilleux, mais comme un endroit confortable, familial. Je croyais aussi que ce serait un moyen, pour les femmes, de ne plus être bloquées devant les sciences...»

Il y a dix ans, en 1978, Karen Messing lançait le cours *Biologie et condition féminine*. La moitié du cours portait sur les bases biologiques de la différence entre les deux sexes, l'autre moitié sur des applications (par exemple: femme et médecine, femme et sport). Une presque première: ce cours était le deuxième du genre en Amérique du Nord, «(...) mais à quelques jours près à peine», précise-t-elle.

«Non pas que j'aie été féministe au départ, dit Karen Messing. Je le suis devenue à la longue, et passionnément. Mais au début, je voulais, tout simplement relever le défi de faire de la science.»

Un défi qu'elle s'était donné comme on l'aurait fait dans un roman. Bachelière en psychologie de Harvard, chercheuse dans le même domaine, toute jeune mère de famille, elle lisait un jour *La Femme Mystifiée* de Betty Friedan tout en allaitant son premier enfant. Une petite phrase retint son attention: «Les femmes ont peur de la science.» Elle décida de faire de la science...

De la chimie, elle passa à la physique, puis à la biologie, et surtout à la génétique, une discipline «très logique».

C'est comme ça et pour ça que Karen Messing est devenue femme de science.

---

*Yannick VILLEDIEU. «Profils de femmes chimistes canadiennes» dans Interface, jan-fév. 1988, pp. 8 à 10.

10.2 L'ACCÈS DES FILLES AU CÉGEP*

* Communication présentée dans le cadre du colloque «Le cégep: voir loin», organisé par la Confédération des syndicats nationaux (C.S.N.) et ses fédérations de l'éducation.

L'accès des filles au collégial? Le thème même peut surprendre, tellement on a l'impression que cet accès ne pose plus de problème, que la situation est réglée depuis longtemps. Comme je me méfie toujours des évidences, je suis allée y voir de plus près et je vous ferai partager quelques-unes de mes découvertes. Je dresserai d'abord un bilan des acquis des filles en matière d'éducation au cours des vingt (20) dernières années, soit depuis la réforme qui a suivi le Rapport Parent. Je tenterai par la suite de montrer en quoi ces acquis sont à la fois fragiles et à parfaire.

Rappelons qu'au début des années '60, selon les données du Rapport Parent [1], les filles ne représentaient que 14 % de l'effectif des collèges classiques (5 000 / 36 000) et 11% de la population étudiante universitaire (1 231 / 11 239), alors qu'elles étaient «parquées» dans les instituts familiaux, aussi appelés «écoles de bonheur», et dans les écoles normales où elles comptaient pour 100 % et 85 % des diplômés. Dans ce contexte, la réforme mise en place à la suite du Rapport Parent représentait une véritable révolution pour l'éducation des filles. Le décloisonnement de la formation générale et professionnelle impliquant la disparition des écoles spécialisées et sexualisées, la création des cégeps, la gratuité scolaire jusqu'à l'entrée à l'université, ouvraient la voie à un accroissement de la scolarisation des filles qui n'allait pas tarder.

De nos jours, la présence des filles est équivalente à celle des garçons à chaque ordre d'enseignement. Elle est même légèrement supérieure au collégial et au 1er cycle universitaire. Il n'y a plus qu'au doctorat où les femmes demeurent nettement sous-représentées. De plus, les filles affichent en général un taux de persévérance plus élevé et des résultats scolaires légèrement supérieurs à ceux des garçons [2]. Assez pour faire craindre à certains le péril rose! Le bilan saute aux yeux: il y a eu un bond considérable dans l'accès des filles à l'enseignement supérieur. Je dirais, avec un brin de cynisme, que quand on part d'aussi loin, c'est difficile de faire autre chose que des progrès... Mais il faut admettre que le progrès est remarquable et qu'il va bien au-delà des objectifs de la réforme qui l'a suscité.

Les travaux de la Commission Parent ont été menés dans un contexte où les rôles et les droits des femmes n'étaient pas ce qu'ils sont devenus. Jusqu'en 1964, les femmes ne pouvaient effectuer de transactions financières sans la signature de leur mari; elles étaient légalement classées avec les mineurs et les interdits. On ne pensait donc pas en faire des administratrices ou des gestionnaires d'entreprise. Jusqu'en 1971, les femmes n'avaient pas le droit d'être jurée; on les imaginait donc mal avocates et encore moins juges. Durant cette période, enfin, l'annonce et la vente des contraceptifs étaient interdites par le code criminel, et ce jusqu'en 1969, on ne parlait pas encore de l'homme nouveau et l'existence des tavernes semblait aller de soi. Dans ce contexte et dans l'esprit des auteurs du Rapport, l'école préparerait d'abord la jeune femme à la vie familiale et ensuite à la vie professionnelle. Ce deuxième volet de sa formation visait à faire d'elle un être intéressant «possédant une certaine sécurité du fait qu'elle pouvait au besoin aider financièrement son mari ou assumer la subsistance de la famille si ce dernier venait à faire défaut». Les objectifs poursuivis ont donc été, fort heureusement, plus qu'atteints.

Par contre, si on raffine un peu l'analyse, on se rend vite compte que, même si les portes des écoles sont grandes ouvertes, les choix des filles reproduisent, en partie du moins, une version moderne des anciennes écoles de filles. À chaque ordre d'enseignement, la répartition de la clientèle scolaire dans différentes familles de programmes révèle la persistance des filles à s'orienter vers un éventail restreint de programmes, débouchant pour la plupart sur des emplois traditionnellement féminins. À l'automne 1987, au collégial, les filles comptaient pour plus des trois quarts des effectifs de lettres (75,9 %) et de techniques biologiques (77,7 %) alors qu'elles ne représentaient que 13 % de la clientèle de techniques physiques et 45 % de celle des sciences. Environ le tiers des étudiantes de collège (32,3 %) étaient concentrées en techniques de bureau et techniques infirmières. À l'université, malgré des percées importantes dans certains secteurs traditionnellement masculins comme la médecine, le droit, l'administration et l'architecture, les choix des filles restent marqués du sceau de la tradition.

À l'automne 1986, on recensait tout juste un peu plus de 20 % (22,1 %) de filles parmi les inscrits du premier cycle en sciences appliquées alors qu'elles formaient près des trois quarts de l'effectif des sciences de l'éducation (70,8 %) et des lettres (70,5 %) [3].

Il m'apparaît donc qu'il y a une différence énorme entre l'avant et l'après-réforme mais qu'il y a aussi une certaine ressemblance. À l'époque où il fallait être fort en thème, les filles étaient absentes ou presque des collèges classiques; maintenant qu'il faut être fort en math, que l'humanisme a fait place au virage technologique, les filles sont ailleurs qu'en science et technologie. L'accès des filles s'est largement réalisé certes, mais largement dans des secteurs aujourd'hui dévalorisés, dans ce qu'on qualifie, souvent avec mépris, de secteurs mous ou de programmes allégés. Ce qui est humain, social ou artistique vaut de nos jours bien peu en comparaison de ce qui est reconnu comme scientifique et technique.

Au lieu de prendre cette situation pour acquis, et de se contenter d'inviter les filles à emprunter les intérêts et les choix de formation qui dominent chez les gars, on peut d'abord se demander si cette dévalorisation est justifiée. J'ai été frappée, il y a quelque temps par le titre accrocheur d'un article de La Presse: «Les femmes auraient avantage à se salir les mains au travail». On appelait ainsi les femmes à se tourner vers les emplois de cols bleus plus rémunérateurs. L'avocat du diable (ou l'avocate de la diablesse?) a aussitôt pris place dans ma tête. Mais qui change les couches des bébés? Qui soigne les malades et les vieillards incontinents? Qui manipule les chaussettes et les «bobettes» sales de presque tous les hommes et les enfants du pays? Les femmes! Et on les accuse d'avoir peur de se salir les mains... Ce que j'en conclus, moi, c'est qu'il y a des saletés plus payantes que d'autres, qu'il y a des tâches dont on sous-estime les inconvénients, les exigences et la valeur. Comme par hasard, ce sont surtout des tâches «féminines», prolongement de services qu'on a l'habitude de recevoir gratuitement à la maison.

Lorsqu'une société considère que le travail d'un gardien de zoo mérite une rémunération supérieure à celui d'une gardienne d'enfants, il y a tout de même lieu de s'interroger. Et la solution au problème ne peut se limiter au recyclage des gardiennes d'enfants en gardiennes de zoo. Cette question de l'équité salariale, qui se discute de plus en plus à l'initiative entre autres de la C.S.N., me semble primordiale. Comment se fait-il que le bagage technique, la dextérité manuelle, le tact et le sens des responsabilités d'une infirmière valent moins que la résistance physique et l'habileté technique requises dans le domaine de la construction? Cette situation est étroitement liée à celle de la dévalorisation des programmes de formation présentés majoritairement par les filles et les femmes.

On peut d'ailleurs se demander jusqu'à quel point cette dévalorisation de la formation et du travail des femmes ne va pas en s'accentuant. Un indice: lorsqu'on examine la situation des sortantes et des sortants du collégial [4], on se rend compte que l'écart salarial, loin de rétrécir, a augmenté au cours des trois dernières années. En 1985, les détentrices d'un D.E.C. professionnel travaillant à temps plein, un an après la fin de leurs études, gagnaient 91 % du salaire de leurs confrères de classe; l'année suivante elles n'en gagnaient plus que 88 % et puis, l'année dernière, 84 %. En trois ans, l'écart salarial entre hommes et femmes est donc passé de 9 % à 16 %. Il faut une chute beaucoup moins dramatique à notre indice de fécondité pour faire la une des journaux, coiffer l'indice Dow Jones au téléjournal - 1,4 en baisse - et se voir désormais hissé, selon le terme même du premier ministre, au rang de véritable question nationale. Je suis plutôt d'avis que, pour les femmes, la véritable question nationale n'est pas tant la question démographique que la question du fric, mais enfin...

Le problème est d'ailleurs complexe. Il semble que ce ne soit pas seulement leurs choix de formation qui pénalisent les filles mais tout simplement leur sexe. Je m'explique. Prenons un programme de formation mixte, où l'on compte un nombre équivalent de filles et de garçons, les techniques informatiques, les diplômés de 1986 un an après la fin de leurs études y gagnaient 5% de plus (350 $ contre 336 $) que leurs consœurs de la même promotion. Si l'on ajoute à cela le fait que les garçons sont plus nombreux à poursuivre leurs études après le D.E.C., on imagine facilement que l'écart augmentera avec les années.

Aussi, les filles qui sortent des sentiers battus, si elles peuvent en tirer certains avantages, n'en deviennent pas pour autant les égales des garçons. Par exemple, en 1987, les détentrices d'un D.E.C. en électronique de 1986 gagnaient 20 $ de plus par semaine que leurs consœurs de secrétariat mais 43 $ de moins que leurs confrères en électro. D'un autre côté, les garçons qui se pointent le nez dans les programmes traditionnellement féminins semblent mieux accueillis. La même année, en

techniques infirmières, pour un travail à temps plein, les garçons retiraient 80 $ de plus par semaine que leurs consoeurs. J'ai cherché des explications rationnelles, je n'en ai pas trouvées. J'ai pensé alerter l'opinion publique en qualifiant de Syndrome d'Instruction Déficiente Acquise le mal qui frappe particulièrement les filles au moment de leur intégration à l'emploi. Répandez la nouvelle, on finira peut-être par s'intéresser à la prévention... Bien sûr, il faudrait approfondir l'analyse pour avoir une image plus complète de la situation comparative des diplômés et des diplômées. J'espère cependant que ces quelques exemples suffiront à ébranler la tranquille assurance que le progrès progresse et que la disparition des inégalités salariales entre hommes et femmes se fera d'elle-même, avec les ans, et d'autant plus vite que les filles se décideront à envahir les chasses-gardées masculines.

Si, comme je viens de l'illustrer, l'accès des filles aux programmes de formation traditionnellement masculins n'est pas la panacée à tous les maux, il n'en demeure pas mois que l'élargissement de l'éventail des choix de carrière des filles reste un objectif à poursuivre. Rappelons que:

- les occupations traditionnellement masculines — celles où l'on compte au moins deux fois plus d'hommes que de femmes— représentent près des deux tiers des occupations (338 / 502) [5] alors que la majorité des femmes demeurent confinées dans 20 de ces 502 groupes professionnels. Il y a donc là tout un champ à investir, ne serait-ce que pour le plaisir... Les femmes aussi peuvent éprouver de la satisfaction à concevoir des projets, diriger des entreprises, réparer des appareils, inspecter des produits ou expérimenter des prototypes;

- en attendant d'obtenir l'équité salariale, les femmes auraient avantage à partager les occupations traditionnellement masculines qui offrent en général des conditions d'emploi et de salaire plus avantageuses. La concentration massive des femmes dans un nombre limité de professions pourrait expliquer 40% de l'écart salarial; [6]

- les prévisions de main-d'oeuvre, malgré le flou artistique qui les caractérise de plus en plus, annonce une faible croissance de l'emploi dans la plupart des secteurs féminins (enseignement, santé et secrétariat); la vente et les services font exception mais les femmes y travaillent déjà en grand nombre et à des conditions peu enviables. Parallèlement, les professions des sciences appliquées de même que celles dans la direction et l'administration, secteurs fortement masculinisés, accroîtront leur part dans l'emploi au Québec; [7]

les filles qui sortent des sentiers battus ne semblent pas le regretter. Un sondage mené par le ministère de l'Éducation [8] auprès de 851 travailleuses occupant des emplois non traditionnels révèle un taux de satisfaction élevé. Neuf travailleuses sur dix affirment qu'elles sont satisfaites ou très satisfaites de leur emploi. Dans des proportions équivalentes, elles souhaiteraient travailler dans le même domaine d'ici trois ans, si elles en avaient la possibilité. À titre de comparaison, selon le Rapport sur la condition enseignante [9], la moitié des professeurs du collégial affirment vouloir travailler ailleurs qu'au cégep.

On peut donc conclure qu'il y a plusieurs bonnes raisons d'inciter les filles à choisir des carrières non traditionnelles.

Mais encore là, quand on veut convertir les dames de coeur en hommes de science, on est vite confronté au problème suivant: pourquoi les étudiantes ne se laissent-elles pas convaincre? En effet, la progression est si lente, qu'au rythme d'évolution des dix dernières années, on n'atteindrait la parité de représentation des filles et des garçons en techniques physiques que dans 150 ans; en sciences appliquées, il faudrait compter près d'un demi-siècle.

On a beaucoup parlé de l'allergie des filles pour les sciences, ce qui leur fermerait la porte aux programmes non traditionnels. On a même questionné leur aptitudes pour finalement se rendre compte que leurs résultats scolaires en science étaient, tant au secondaire qu'au collégial, équivalents ou supérieurs à ceux des garçons. On est également à même de constater que les étudiantes ne dédaignent pas les sciences en soi, comme en témoigne leur présence importante en techniques biologiques et en science de la santé. On remarque qu'elles fuient d'autant plus l'étude des sciences qu'elles se situent dans un contexte technologique par exemple en techniques physiques et en sciences appliquées, là où, entre autres, elles ne trouvent pas réponse à leurs intérêts sociaux.

On peut alors se demander si le problème réside au coeur des filles ou au coeur de la science et de la technologie.

On a souvent tendance à voir le rejet des sciences et de la technologie par les filles comme une manifestation de leur aliénation. On pourait à l'inverse se demander si, sous l'engouement apparent des garçons pour les formations scientifiques et technologiques, ne se cache pas tout simplement une forme de contrainte imposée par leur rôle d'éventuels pourvoyeurs. Les gars se sont peut-être tout simplement résignés à l'idée que l'étude des sciences était le prix à payer pour avoir un emploi alors que les filles choisissent d'abord ce qu'elles aiment. Il pourait être intéressant d'utiliser l'actuel désintérêt des filles à l'égard des programmes de formation scientifiques et techniques comme indicateur de l'insatisfaction de l'ensemble des élèves face aux programmes dispensés. On arriverait pout-être à la conclusion qu'il faut redéfinir cette formation en la liant plus aux réalités quotidiennes des élèves et à leurs préoccupations sociales.

De la même manière, on peut se demander pourquoi le travail avec des systèmes scientifiques, techniques ou mécaniques serait incompatible avec des intérêts sociaux. Se pourrait-il qu'on ne soit pas là en présence d'une aliénation des filles mais plutôt d'une manifestation des carences de l'organisation du travail modelée par les hommes?

Pour attirer les filles dans les secteurs scientifiques et techniques, on tenie de plus en plus de mettre en évidence le caractère social de la science. Si le mythe du savant solitaire, obsédé par les électrons, doit être démoli et que le travail en équipe qui se pratique dans les laboratoires et les ateliers mérite d'être connu, il faudrait prendre garde de ne pas propager un autre mythe, celui de la bonne science dont les découvertes assurent automatiquement le progrès humain. Les filles enrôlées sous une fausse représentation risqueraient de ne pas se maintenir longtemps dans leurs nouvelles orientations en réalisant que la science et que la technologie soutiennent largement la guerre, la pollution et la division du travail. On m'a demandé de «voir loin», alors je me suis permise de porter mon regard jusqu'au coeur de la science... Je présume que le jour où l'on fera de la science et de la techno vraiment intéressantes, avec un enseignement correspondant, les filles n'élimineront pas cette source de plaisir. En matière de santé, les analyses féministes nous ont appris que sous la dépression et la frigidité des femmes se cachait une remise en question radicale des rapports sexuels, affectifs et sociaux entre les hommes et les femmes. Il en va de même en matière de formation et d'emploi scientifiques et technologiques : si les robots nous laissent froides, c'est p.. st-être pas seulement parce que nous sommes frigides!

Pour revenir à notre question de départ, on peut conclure que l'accès des filles au collégial, et de manière générale à l'enseignemnt supérieur, est maintenant acquis. Un acquis fragile, sensible aux courants de dévalorisation des activités humaines et sociales. Un acquis à parfaire: une fois ouvertes les portes du cégep, il reste encore bien des cloisons à abattre pour rendre accessibles aux femmes toutes les pièces de l'institution.

Michèle Berthelot
Coordination à la condition féminine, M.E.Q. 12 mars 1988.

Notes

1. Rapport Parent. Rapport de la Commission royale d'enquête sur l'enseignement dans la province de Québec, tomes I et II, M.E.Q., 1963. Les statistiques universitaires excluent les arts.

2. M.E.Q. Indicateurs sur la situation de l'enseignement primaire et secondaire, édition 1987; Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Science, Direction générale de l'enseignement collégial, (D.G.E.C.), *Statistiques sur la réussite au collégial*, session automne 1986.

3. Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Science, D.G.E.C., Système d'information et de gestion des données sur l'effectif collégial, effectif de l'ensemble du réseau, régulier, temps plein, automne 1987; M.E.S.S., Direction de la planification et du développement, inscriptions à temps complet au 1er cycle universitaire, automne 1986.

4. MICHEL, Pierre. Relance au collégial, Promotion 1984-1985 et 1985-1986, Direction des études sur l'emploi et les carrières, M.E.Q.

5. C.E.I.C. Les femmes et les professions non traditionnelles. Liste des professions par code C.C.D.P. à 4 chiffres, identifiées comme étant non traditionnelles pour les femmes. Région du Québec, Groupes spéciaux et action positive/Formation, C.E.I.C., 1984.

6. BOULET, Jac-André. «La diversification professionnelle des femmes en milieu de travail», Pour un partage équitable, Conseil économique du Canada, 1985, p.37.

7. DELAGRAVE, Louis, PARENT, Luc et BÉLAND Pierre. «L'emploi par profession: évolution passée et perspective pour 1993», Le marché du travail, vol. 8, no. 2, février 1987; direction des études sur l'emploi et les carrières, *L'emploi et les carrières à l'aube des années 90*, M.E.Q., 1987.

8. BERTHELOT, Michèle et Nicole COQUATRIX. Résultats préliminaires de l'étude portant sur les jeunes travailleuses en emploi non traditionnel, Coordination à la condition féminine, M.E.Q., novembre 1987.

9. CALDWELL, Gary et Simon LANGLOIS. «Les cégeps vingt ans après», Recherches Sociographiques, vol. 27, no. 3, 1986, p.363.

11 La science telle qu'elle nous est présentée: fiction ou réalité

Mythe
Si j'ai de la difficulté à trouver ce que je cherche ou si ça me prend trop de temps, je ne pourrai pas faire de la recherche, ni même me diriger vers les sciences.

Anti-mythe
Même les chercheuses et les chercheurs les plus réputés rencontrent des difficultés et traversent des périodes de découragement au cours de leurs recherches. La persévérance et l'acharnement sont deux de leurs qualités primordiales.

Objectifs
Prendre conscience que l'idée qu'on se fait des sciences et de la recherche est souvent conditionnée par l'image et le discours véhiculés par les scientifiques et les médias.
Développer une attitude critique face à l'information.

Matériel
Guide d'analyse
Texte: «La science telle qu'elle nous est présentée: fiction ou réalité» (pp. 66 à 67).

Déroulement de l'activité
Après un exposé et/ou une discussion portant sur l'image des sciences et des scientifiques, faire lire le texte «La science telle qu'elle nous est présentée: fiction ou réalité» (pp. 66 à 67). Demander aux élèves de choisir un outil d'information: émission d'information scientifique, article de revue ou de journal, manuels ou notes de cours, bande vidéo, texte de vulgarisation scientifique, etc. et d'en effectuer l'analyse critique à l'aide du Guide d'analyse (p. 65) distribué à cet effet.

Discussion
De retour en classe, partager les comptes rendus des élèves. Faire tourner la discussion autour d'une attitude critique face à l'information. Mettre en évidence les aspects qui, d'une part, motivent les élèves à se diriger en science et qui, d'autre part, les en éloignent. Essayer de mettre l'accent sur l'importance d'avoir une vision réaliste du domaine scientifique afin de faire des choix éclairés. Par exemple: La population serait-elle mieux servie si les médias insistaient davantage sur le cheminement réel d'une recherche? Consommerions-nous une telle information? En tant que public-consommateur, sommes-nous responsables de l'information que nous avons?

Guide d'analyse

Faire ressortir la proportion (temps ou pages) qui a été consacrée aux résultats par rapport au cheminement qui y a conduit.

Est-il fait état des tentatives infructueuses, des erreurs, des fausses pistes? Si oui, dans quelle mesure? Dans quelle mesure les recherches menées par d'autres individus travaillant sur le même sujet ont-elles affecté ces recherches? En a-t-il seulement été question, ou a-t-on l'impression qu'elle est la seule personne (ou groupe) ou encore la première à s'intéresser à cette question?

A-t-il été question des raisons qui ont amené ces chercheuses ou chercheurs à faire carrière en science, à faire cette recherche?

Combien d'années cette recherche a-t-elle duré?

Y a-t-il eu des périodes de découragement?

Est-ce que l'issue semblait évidente dès le départ?

LA SCIENCE TELLE QU'ELLE NOUS EST PRÉSENTÉE: FICTION OU RÉALITÉ

Les élèves et la population en général disposent de nombreuses sources d'information à partir desquelles ils apprennent et connaissent les développements de la science, que ce soit à travers les documentaires télévisés, les revues de vulgarisation, les journaux ou l'école.

Bien que l'objectif fondamental de tout document d'information soit d'informer, d'abord faut-il qu'il soit diffusé et, ensuite, qu'il attire l'attention de ceux à qui il s'adresse.

Or les critères «inavoués» de sélection des émissions ou des articles d'information scientifique sont souvent les mêmes que ceux des variétés ou des faits divers; le spectaculaire d'abord et avant tout; il faut du sensationnel, du visuel, voire du suspense.

Qui écouterait un documentaire sur les fouilles archéologiques sous-marines si:

- 95% du temps était consacré à nous faire voir une chercheuse ou un chercheur arpenter les allées des archives maritimes et tenter de traduire des textes anciens, étiqueter et classifier des fragments de poterie et des ustensiles (pour peu qu'il ait eu la chance d'en trouver), rédiger des rapports et des articles et, finalement,

- 5% du temps (et c'est peut-être beaucoup) à faire de la plongée sur l'épave?

Pis encore, qui écouterait cette émission si l'épave n'avait pas pu être localisée? C'est ce qui est le cas pour la majorité des fouilles sous-marines: pas de trésor, pas d'émission.

Quand avons-nous pu voir des documentaires sur la recherche du Titanic? Et que dire de la soirée de gala télévisée lors de «l'ouverture des coffres» et animée par Telly Savalas, où des experts en tenue de soirée tripotaient bijoux et papier-monnaie en essayant de faire sérieux?

Il en va de même pour les sports et la musique. Pour une heure de concert (que certains n'apprécieront même pas), il a souvent fallu des mois de répétition. Pour quelques secondes de compétitions aux jeux olympiques (où seuls les trois meilleures positions sont reconnues et où seule la première est adulée), il aura fallu quatre ans d'entraînement intensif à la faible quantité d'athlètes qui auront réussi à accéder aux équipes nationales.

Quel taux d'échec!

Quelle passion anime toutes ces personnes?

Bien que la réalité soit, dans une certaine mesure, conforme à la description qui vient d'être faite, l'image véhiculée par les médias est souvent tout autre. Notre émission sur les fouilles archéologiques consacrera 90% du temps à nous montrer les chercheurs en train de découvrir des objets de valeur inestimable. Les documentaires sur l'orchestre symphonique ou sur le groupe rock nous montreront presque exclusivement des images de tournées internationales, de foules hystériques, de concerts prodigieux. Une retransmission des jeux olympiques ne nous fera voir que les moments les plus exaltants des compétitions et ne nous fera connaître que la ou le vainqueur de chaque épreuve.

Il faut dire que si l'on ne dispose que d'une demi-heure ou d'une heure pour faire connaître le fruit de nombreuses années de recherche, on doit aller droit au but. On ira parfois même jusqu'à construire une démarche (scénario) qui n'est pas conforme au vécu mais qui passe mieux, escamotant les erreurs, les fausses pistes, voilant le moins spectaculaire et le moins prestigieux pour donner une image et un cachet plus «scientifique».

Est-il possible que certains finissent par croire que c'est ça la réalité? Dans l'affirmative, une telle perception peut-elle avoir des répercussions dans les attitudes et les comportements des élèves face à leur apprentissage des sciences?

Combien d'élèves s'offusquent d'avoir à passer de longues heures à apprendre la mécanique classique ou à faire des calculs insensés qui exigent l'utilisation rigoureuse de la notation vectorielle? Combien d'élèves encore, après une première tentative infructueuse pour résoudre un problème, abandonnent et demandent la solution au prof? Leur désir, disent-ils, c'est de faire de la science, de faire des découvertes, d'aller dans les étoiles... et tout de suite. Bref, faire comme les vrais.

Habitués de voir des gens trouver et non pas chercher,

certains élèves refusent de faire l'effort de chercher et se considèrent souvent comme des «cruches» s'ils ne voient pas la solution dès le début.

Il faut dire que les professeurs, souvent inconsciemment peut-être, ont aussi une part de responsabilité lorsqu'ils donnent l'impression que le problème qu'ils viennent de solutionner est simple, alors qu'ils omettent de mentionner qu'à leur bureau, ils ont dû y consacrer une demi-heure et qu'ils se sont trompés plus d'une fois avant d'arriver au bon résultat.

Consciemment ou non, ils contribuent ainsi à donner des sciences et des scientifiques une image qui n'est pas conforme à la réalité. Lorsqu'ils parlent des travaux de Kepler, de Bohr ou d'Einstein, font-ils attention de ne pas faire croire aux élèves que ces chercheurs ont obtenu seuls et par eux-mêmes les résultats qui les ont rendus célèbres?

Certaines formes d'enseignement contribueraient-elles à renforcer le mythe du génie solitaire? Les médias et les vulgarisateurs sont-ils les seuls responsables de la perception qu'ont les gens de l'activité scientifique? Faut-il en changer?

Il est important de montrer la science et ceux qui la pratiquent sous un angle qui traduit davantage la réalité, même et surtout si cela a pour conséquence d'en atténuer prestige et prodige.

Éditorial
par Yvon Fortin

12 Préjugés et dogmatisme

Mythe
Grâce à la culture scientifique, les préjugés et le dogmatisme ont fait place au rationnel, à la logique, à l'analyse et à la compréhension.

Anti-mythe
La recherche scientifique et la connaissance scientifique ne sont pas des éléments nécessaires et suffisants à l'abolition du dogmatisme. Bien au contraire, on peut utiliser la connaissance scientifique de manière dogmatique, par exemple en présentant les données d'une recherche comme s'il s'agissait de la seule bonne façon de concevoir la réalité.

Objectif
Prendre conscience de sa propre tendance à utiliser les connaissances scientifiques de façon dogmatique.

Problématique
Dans nos sociétés modernes, où la science est tellement présente qu'elle est devenue culture, on croit généralement que le temps est révolu où l'on acceptait sans les comprendre les théories telles que "la Terre est plate" ou qu'elle est "le centre de l'Univers". La plupart des gens croient ou veulent croire qu'ils adoptent généralement une démarche rationnelle, méthodique et scientifique et que les préjugés et le dogmatisme n'interviennent jamais dans leur prise de position.

Il s'agit donc de montrer que les préjugés et le dogmatisme dont ont fait preuve, par exemple, ceux qui se sont opposés aux théories soutenues par Galilée sont encore bien présents aujourd'hui.

Déroulement de l'activité
L'activité qui suit, exploite la connaissance des caractéristiques du mouvement de la Terre pour faire ressortir l'attitude dogmatique que manifestent certaines personnes lorsqu'elles sont appelées à défendre leur position.
Elle est fondée sur une confrontation d'idées entre les élèves et la professeure ou le professeur qui doit être capable de soutenir avec conviction certaines idées qui heurtent le sens commun et les «vérités» scientifiques.

Ainsi, lorsqu'on traite des repères galiléens, il y a toujours un certain scepticisme quand on aborde le fait qu'il est impossible de faire la preuve par une expérience physique qu'un repère se meut si son mouvement est rectiligne uniforme.

Profitant des commentaires et de l'ambiance suscités par le sujet des mouvements relatifs, lancez avec une certaine conviction qu'il est bien connu que le Soleil tourne autour de la Terre.

Le groupe réagira aussitôt en vous indiquant que vous venez de vous tromper et que c'est le contraire qui est vrai.

Vous défendez alors votre position en soulevant certains faits connus qui rencontreront l'assentiment du groupe, tels que:

«Lorsque je vois une auto se déplacer dans la rue, je suis certain que c'est elle qui bouge et non la rue».

«Lorsque je vois un avion se déplacer dans le ciel, je suis certain que c'est l'avion qui est en mouvement et non pas moi».

Vous ajoutez alors:

«Puisque j'ai toujours vu le Soleil se lever à l'est dans le ciel pour se déplacer progressivement vers l'ouest où il se couche systématiquement, et ce, même si je suis resté chez moi toute la journée, alors je suis certain que c'est le Soleil et non la Terre qui est en mouvement, comme dans le cas de l'auto et de l'avion».

Vous aurez alors probablement le commentaire que ce n'est pas la même chose et qu'il est bien connu maintenant que la Terre est en rotation sur elle-même, ce qui explique la succession du jour et de la nuit, et qu'elle orbite également autour du Soleil, ce qui explique la succession des saisons.

Demandez-leur alors de vous démontrer ce qu'ils avancent ou encore de vous convaincre qu'ils ont raison.

Ils seront presque certainement déroutés et, s'il n'y a pas d'amateurs d'astronomie dans le groupe, certains évoqueront sûrement le fait que c'est écrit dans tous les livres de sciences depuis Galilée.

Vous pouvez alors leur faire prendre conscience qu'ils font preuve de dogmatisme et que l'argument qu'il s'agit d'un fait bien connu que les astronomes sauraient démontrer est équivalent à celui des opposants de Galilée invoquant Aristote.

Vous pouvez également en profiter pour souligner le courage et l'incroyable vigueur d'esprit dont ont fait preuve les anciens (Galilée, Newton, Einstein...) lorsqu'ils ont développé et soutenu des théories contraires à l'évidence, au sens commun et aux théories reconnues.

Si le cas du mouvement de la Terre vous semble trop simple, traitez du phénomène des marées. Pour la plupart des gens, l'explication des marées est associée à un mouvement d'aller et de retour de l'eau. Vérifiez leur étonnement, leur scepticisme et, dans certains cas, leur refus catégorique lorsque vous leur expliquerez que dans les faits, si on néglige les particularités géographiques, les «bourrelets d'eau» dus à l'attraction gravitationnelle de la Lune sont immobiles et que c'est

nous qui nous déplaçons à travers eux à cause de la rotation de la Terre. C'est ce qui fait que la marée monte lorsqu'on pénètre dans le bourrelet, et qu'elle descend lorsqu'on en sort.

Ce genre de cas entraînera probablement les mêmes débats que ceux qui ont été décrits plus haut. Il ne vous reste qu'à faire en sorte que les élèves se défendent avec conviction, en essayant de les entraîner sur le terrain des préjugés, du dogme, ou encore sur celui de l'autorité.

13 Éleusis ou le raisonnement inductif

Mythes

- L'erreur n'a pas sa place dans une véritable démarche scientifique.
- On reconnaît les vrais scientifiques à leur capacité de trouver l'explication ou la solution à un problème sans se tromper en cours de route.
- L'esprit scientifique se caractérise par la capacité de trouver la solution d'un problème au moment même de la lecture.

Anti-mythe

Dans le processus de recherche d'un modèle, d'une théorie ou d'une loi physique, les fausses pistes et les hypothèses erronées sont aussi utiles que les hypothèses valables. Sans les erreurs et les recommencements, il serait difficile de progresser en science. Ne dit-on pas que «l'expérience d'une personne est la somme de ses erreurs »?

Objectif

À partir d'une démarche basée sur le raisonnement inductif, prendre conscience que les erreurs sont des sources d'information précieuses pour le progrès des connaissances.

Matériel

- Texte: «Éleusis ou la recherche de la vérité» (pp. 73 à 76).
- Jeux de cartes (prévoir 3 jeux de cartes pour une partie faisant intervenir 8 équipes).

Déroulement de l'activité

Faire jouer la classe au jeu d'Éleusis à partir des consignes et règlements présentés dans le texte «Éleusis ou la recherche de la vérité» (pp. 73 à 76).

Suggestions

Il est préférable:

- de choisir le "Donneur" parmi les élèves;
- de laisser les équipes débattre les hypothèses;
- de séparer la classe en deux si le groupe est trop nombreux.

Discussion

Après avoir joué quelques parties, demander aux élèves s'ils pensent que le jeu serait plus facile si le règlement exigeait que l'on cache les cartes ne correspondant pas à la «loi» pour ne garder que les bonnes.

Étendre les éléments de la démarche utilisée pour le jeu d'Éleusis aux méthodes employées dans les cours de physique (Physique expérimentale et solution de problèmes).

Notes/commentaires

Lors de travaux de laboratoire, les élèves ont la manie de faire disparaître les mesures erronées et les mauvais résultats en les noircissant. Plusieurs vont même jusqu'à retranscrire la feuille de données expérimentales en prenant soin de ne garder que les valeurs qu'ils jugent bonnes (sur le moment).

Or, en recherche comme dans les études, il est aussi important de garder les mesures et les résultats non concluants que ceux qui concordent avec la théorie, puisqu'ils sont souvent le reflet des difficultés expérimentales et théoriques rencontrées lors de l'expérience. On doit donc inciter les élèves à ne pas faire disparaître les mauvaises mesures, mais plutôt à les rayer de façon à ne pas les confondre avec les bonnes tout en les laissant lisibles.

Cette méthode est également très utile lors de la résolution de problèmes. Les erreurs que l'on commet dans une solution sont souvent révélatrices des notions incomprises et des difficultés rencontrées. À ce titre, elles sont d'une importance capitale dans le processus d'apprentissage, puisqu'elles nous permettent d'identifier les points faibles et d'y concentrer nos efforts.

À cette fin, on suggère de rédiger nos solutions à raison d'une par page et au recto seulement. Lorsque la solution est mauvaise, on la reprend au verso de la page précédente. De cette façon, on peut comparer directement les deux versions et mettre en évidence les erreurs commises.

Cette méthode est excellente pour déceler et corriger les erreurs récurrentes: unités, notation vectorielle, système de référence, schéma... Elle permet aux élèves aux prises avec le stress que leur causent les erreurs de ce genre (souvent qualifiées d'insignifiantes) de pouvoir améliorer leur performance aux examens. Il peuvent également prendre des notes concernant des points particuliers des exercices sur le verso de la page précédente, lorsque la solution occupe déjà tout le recto.

ÉLEUSIS OU LA RECHERCHE DE LA VÉRITÉ [1]

Éleusis est un jeu qui tire son nom des mystères d'Éleusis, rites religieux de la Grèce antique au cours desquels les postulants étaient initiés à des règles secrètes. Il se joue avec des cartes ordinaires (2 à 3 jeux de 52 cartes).

Voici une version modifiée de ce jeu qui devrait permettre la participation du plus grand nombre d'élèves possible. Au lieu de jouer à quatre ou huit joueurs, il se jouera à quatre ou huit équipes. Le calcul des points a été supprimé.

Une partie consiste en une ou plusieurs donnes distribuées par des donneurs différents. Le Donneur peut être appelé Dieu, la Nature, Tao, Brahma, l'Oracle (comme à Delphes), ou tout simplement le Donneur.

Le premier travail du Donneur est d'élaborer une «règle secrète» (loi de la Nature). Il s'agit d'une règle définissant la suite des cartes «correctes» qui doivent être jouées au cours d'une partie. Le jeu consiste à découvrir cette règle.

Normalement, le décompte des points se fait de telle façon qu'il est avantageux pour le Donneur de faire une règle ni trop facile, ni trop difficile. Il est donc important d'insister sur cette caractéristique d'une bonne règle, sinon le jeu durerait trop longtemps.

Un exemple de règle trop simple est: «jouer une carte de couleur différente de celle précédemment jouée»; l'alternance des couleurs serait immédiatement évidente. Une meilleure règle «jouer de façon que la hauteur de la carte jouée soit alternativement un nombre premier ou un nombre non premier» serait peut-être encore trop simple pour les spécialistes des mathématiques; mais pour les profanes, elle risquerait d'être trop difficile.

Un exemple de règle compliquée est: «multiplier les nombres des trois dernières cartes jouées, puis diviser par 4. Si le reste est 0, jouer une carte rouge ou supérieure au 6. Si le reste est 1, jouer une carte noire ou une figure. Si le reste est 2, jouer une carte paire ou inférieure au 6. Si le reste est 3, jouer une carte impaire ou un 10.» Personne ne trouvera une telle règle.

Voici trois exemples de bonnes règles pour jouer avec des débutants et des débutantes.

Exemple 1. Si la dernière carte correcte jouée est impaire, jouer une carte noire; si la dernière carte est paire, jouer une carte rouge.

Exemple 2. Si la dernière carte correcte jouée est noire, jouer une carte de valeur supérieure ou égale. Si la dernière carte jouée est rouge, jouer une carte de valeur inférieure ou égale; les valeurs attachées au valet, à la dame, au roi et à l'as sont respectivement 11, 12, 13 et 1.

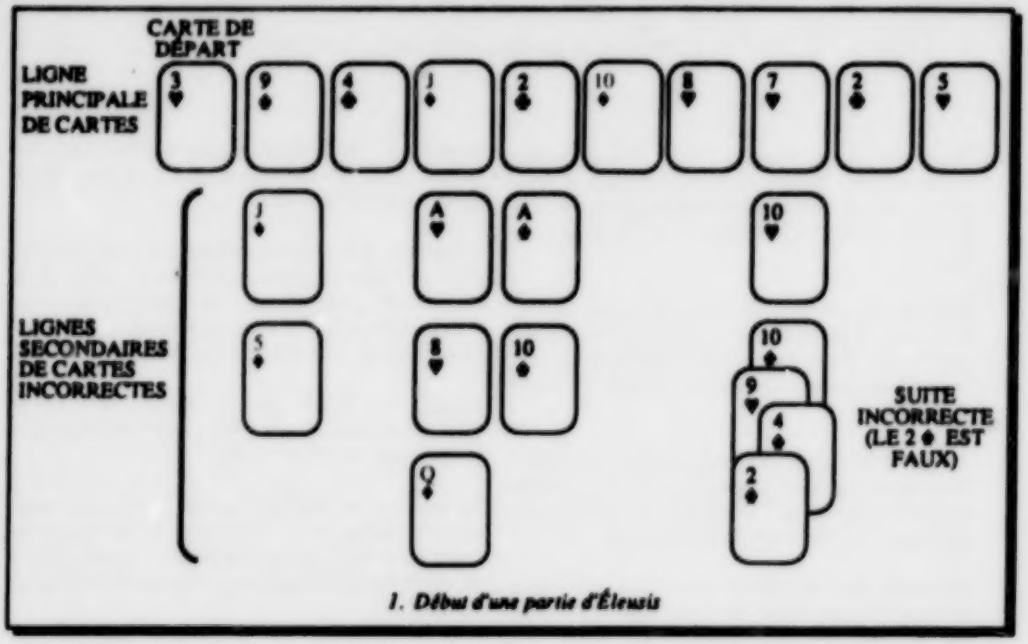
Exemple 3. La carte jouée doit être soit de la même famille (trèfle, carreau, etc.), soit de la même hauteur que la dernière carte correcte jouée.

La règle ne doit dépendre que de la suite des cartes correctes qui ont été jouées. La règle secrète ne peut en aucun cas dépendre d'autre chose que des cartes jouées, comme le sexe du dernier joueur, l'heure, une inspiration divine, etc.

La règle secrète doit être écrite de manière claire et précise sur une feuille de papier que l'on met de côté pour vérification à la fin de la partie. Le Donneur peut fournir une indication avant que le jeu commence. Par exemple, il peut dire que « la règle ne fait pas intervenir la couleur » ou « la règle ne dépend que des deux cartes jouées précédemment ».

Après que la règle secrète a été inscrite, le Donneur bat les cartes et en distribue 14 à chaque équipe, aucune à lui-même. Il place une carte appelée «carte de départ» à l'extrême gauche du tapis de jeu, comme illustré sur la figure 1 (voir à la page suivante). Pour déterminer l'équipe qui commence, le Donneur compte dans le sens des aiguilles d'une montre à partir de l'équipe placée immédiatement à sa gauche, en s'excluant lui-même. Il compte jusqu'à ce qu'il ait atteint la valeur de la carte de départ. L'équipe sur laquelle tombe ce compte commence le jeu qui se poursuivra en suivant le sens des aiguilles d'une montre.

Lorsque vient son tour de jouer, chaque équipe doit abattre de son jeu une ou plusieurs cartes qu'elle montre à tout le monde. Si, selon la règle secrète, la carte est correcte, le Donneur dit «vrai». La carte est alors placée à la droite de la carte de départ sur «la ligne principale» des cartes correctes qui s'allonge horizontalement de la gauche vers la droite.



1. Début d'une partie d'Éleusis

Si la carte ne correspond pas à la règle, le Donneur dit «faux». Dans ce cas, la carte est placée juste au-dessous de la dernière carte jouée. Les colonnes verticales de cartes incorrectes sont appelées «lignes secondaires». Les cartes incorrectes jouées consécutivement se placent sur la même ligne secondaire, de haut en bas.

Si une équipe pense avoir découvert la règle secrète, elle peut jouer une «suite» de 2, 3 ou 4 cartes à la fois. Elle présente les cartes de la suite légèrement décalées mais regroupées pour préserver leur ordre et elle les montre à tout le monde. Si toutes les cartes de la suite sont conformes à la règle, le Donneur dit «vrai». Alors, toutes les cartes sont placées côte à côte sur la ligne principale, sans se chevaucher, comme s'il s'agissait de cartes isolées correctes qui auraient été jouées séparément.

Si une ou plusieurs cartes de la suite sont incorrectes, le Donneur déclare fausse la suite entière, sans préciser quelles sont les cartes incorrectes. La suite est alors déposée, cartes toujours imbriquées, au-dessous de la dernière carte jouée, afin qu'il reste trace de la suite jouée.

La partie est terminée dès qu'une équipe a découvert la loi ou lorsque toutes les équipes ont épuisé leur stock de cartes.

La disposition de la figure 1 illustre toutes les règles du jeu d'Éleusis décrites jusqu'à présent. La règle secrète du Donneur est, pour cette disposition, celle du premier des trois exemples indiqués précédemment.

Au commencement d'une partie, le choix de la carte à jouer se fait sur la base d'informations insuffisantes et nécessairement au hasard. Au fur et à mesure que la partie avance, la disposition des cartes donne de plus en plus d'informations qui vont faciliter la découverte de la règle.

Une équipe peut croire avoir découvert la règle secrète mais juger que son jeu ne comprend pas de cartes correctes à jouer. Elle a alors la possibilité de déclarer «je passe». Dans ce cas, elle abat son jeu. Si le Donneur déclare « vrai » et que l'équipe n'est pas en mesure d'énoncer la règle secrète, elle a la possibilité de demander au Donneur de lui remettre autant de cartes qu'elle le désire jusqu'à concurrence du nombre qu'elle avait dans son jeu au moment de jouer ce dernier coup.

Si l'équipe s'est trompée en déclarant «je passe», le Donneur lui prend une de ses cartes correctes et la place sur la ligne principale. L'équipe conserve le reste de son jeu et se voit infliger une pénalité d'une carte que le Donneur lui retire. Une équipe qui pense qu'elle n'a pas de cartes correctes, mais qu'elle n'a pas tout à fait deviné la règle secrète, n'a pas intérêt à utiliser la procédure du «je passe», mais plutôt à jouer une carte au hasard.

Lorsqu'une équipe pense avoir deviné la règle secrète, elle peut l'annoncer en se proclamant Sage. Elle se nomme une ou un porte-parole qui, en tant que Sage, est investi du pouvoir du Donneur: il annonce «vrai» ou «faux» et il distribue les pénalités aux équipes. Une équipe ne peut se déclarer Sage que si et seulement si les conditions suivantes sont remplies:

1. elle vient de jouer (correctement ou incorrectement) et l'équipe suivante n'a pas encore joué;
2. il n'y a pas de Sage déjà existant;
3. entre le Donneur et lui, deux équipes au moins ont encore à jouer;
4. l'équipe n'a encore jamais été Sage durant cette partie.

Lorsqu'une équipe se déclare Sage, elle dépose une marque quelconque, une pièce d'échec par exemple, sur la dernière carte qu'elle a jouée. Elle conserve ses cartes mais ne joue plus jusqu'à ce qu'elle soit destituée. La partie se poursuit normalement en passant le tour du Sage.

Chaque fois qu'une carte ou une suite est jouée, le Sage proclame «vrai» ou «faux». Le Donneur entérine ou contredit l'affirmation du Sage en disant «oui» ou «non». Si le Sage a raison, la carte est placée sur le tapis, sur la ligne principale si elle correcte, sur la ligne secondaire si elle est incorrecte. Si le Donneur dit «non», le Sage est immédiatement destitué. Il est déclaré mauvais prophète. Le Donneur enlève de la carte la marque du mauvais prophète et il lui retire cinq cartes de pénalité; il lui est désormais interdit de recevoir d'autres cartes du Donneur. En signe d'ignominie, il est interdit à son équipe de se déclarer Sage jusqu'à la fin de la partie.

La connotation religieuse est évidente mais, comme le fait remarquer Abbott, l'auteur du jeu, il y a une amusante analogie avec les pratiques des milieux scientifiques: «Les cartes sont les budgets des équipes de recherches»; «le Sage est celui qui publie», «le mauvais prophète est le scientifique qui publie trop précipitamment». Devenir un Sage ou démasquer un mauvais prophète est ce qui est le plus amusant dans le nouveau jeu d'Éleusis.

Après la destitution du Sage, le Donneur reprend ses prérogatives. Il complète le jeu qui a confondu le Sage en plaçant la carte, ou la suite, à la bonne place sur le tapis. Toutefois, même si la carte ou la suite jouée est incorrecte, l'équipe qui vient de jouer peut demander au Donneur un nombre équivalent de cartes afin de poursuivre la partie. Cet octroi du Donneur a pour but d'encourager les équipes à jouer de manière inhabituelle, même délibérément de façon incorrecte, pour essayer de destituer le Sage. Dans l'optique de Karl Popper, c'est pour encourager les scientifiques à rechercher les moyens de «contredire» les théories discutables de leurs collègues.

S'il y a un Sage et qu'une équipe déclare «je passe», il y a alors quatre possibilités:

1. Le Sage dit «vrai» et le Donneur dit «oui». Le Sage procède simplement comme il a été dit auparavant.

2. Le Sage dit «vrai» et le Donneur dit «non». Le Sage est immédiatement destitué. Le Donneur reprend la direction du jeu, comme auparavant. L'équipe qui vient de jouer peut demander son octroi.

3. Le Sage dit «faux» et le Donneur dit «non». En d'autres termes, l'équipe qui vient de jouer a raison. Le Sage est alors destitué et le Donneur reprend la direction du jeu, comme auparavant. L'équipe qui vient de jouer peut demander son octroi.

4. Le Sage dit «faux» et le Donneur dit «vrai». Dans ce cas, le Sage doit prélever une carte dans la main de l'équipe qui vient de jouer et il doit la placer sur la ligne principale. S'il le fait correctement, le jeu continue normalement. Toutefois, le Sage peut se tromper en prélevant une carte incorrecte. Si cela arrive, le Sage est destitué et le Donneur reprend la direction du jeu, comme auparavant. L'équipe qui vient de jouer peut demander son octroi.

Quand trente cartes ont été jouées et si aucun Sage ne s'est manifesté, les équipes sont éliminées de la partie lorsqu'elles jouent un mauvais coup, c'est-à-dire une carte incorrecte ou un déclaration de passe erronée.

S'il y a un Sage, on diffère le processus d'élimination jusqu'à ce que vingt nouvelles cartes aient été jouées après celle qui porte la marque du Sage. Tant qu'il n'y a

pas de Sage, un pion blanc est placé sur chaque dixième carte disposée sur le tapis; s'il y a un Sage, un pion noir est placé sur chaque dixième carte déposée après la marque du Sage (un roi, un reine, un fou ou un cavalier à son choix).

Une partie est terminée lorsqu'une équipe découvre la loi, ou lorsque toutes les équipes ont épuisé leur stock de cartes, ou encore lorsqu'elles ont toutes été éliminées.

Pour que les parties soit intéressantes, il faut éviter que les Donneurs ne formulent des lois trop complexes.

La règle utilisée pour le jeu illustré par la figure 1 est simple. C'est la règle suivante: jouer une carte rouge, puis une noire, puis une carte impaire et, enfin, une carte paire et recommencer le cycle. Cette règle semble simple et, pourtant, le passage de l'alternance rouge/noire à l'alternance paire/impaire est difficile à découvrir. D'après Abbott, une règle telle qu'environ un quart des cartes de n'importe quelle équipe soit jouable est plus facile à découvrir qu'une règle, moins contraignante, qui exigerait que la moitié ou plus des cartes que les équipes ont en main.

Voici comment l'auteur termine son article: «Je n'ajouterai pas comment ce jeu simule la recherche d'une vérité (scientifique, mathématique ou philosophique), l'ayant déjà fait dans ma première rubrique de 1959. J'ajouterai seulement l'idée fantasmagorique Dieu ou la Nature joue peut-être des milliers de jeux d'Éleusis simultanés avec les habitants des planètes de l'Univers, augmentant toujours son plaisir en choisissant des règles telles que ces esprits limités ne les trouvent ni trop faciles ni trop difficiles à découvrir, à condition qu'on leur en donne le temps. Les combinaisons des cartes sont infinies et lorsqu'un joueur est éliminé, il y en a toujours un autre pour prendre sa place.

«Sages et ignorants vont et viennent; qui sait quand une partie se termine et une autre commence? La recherche de n'importe quelle forme de vérité cachée est un jeu très enrichissant. Il est bon de se souvenir qu'il n'existerait pas de jeu dès lors que certaines données n'en seraient pas cachées.»

(1)Vous pouvez consulter la version complète et originale dans la rubrique «Jeux mathématiques» de la revue Scientific American vol. 232, no 4, octobre 1977, pp. 18 à 25, dont la traduction est parue dans Pour la science, no. 2, décembre 1977, pp. 118 à 123.

14 Modèle féminin: Marie Sklodowska-Curie

Mythe
Ce sont des personnes spécialement douées qui ont construit l'histoire.

Anti-mythe
La réussite chez les scientifiques résulte directement de la détermination et de l'acharnement au travail.

Objectif de l'activité
Prendre connaissance des aléas et des difficultés d'une personne de science de grande notoriété, Marie Sklodowska-Curie, à partir de quelques événements de son expérience vécue.

Introduction
Les personnes scientifiques renommées sont évidemment présentées pour leurs découvertes importantes. On oublie bien souvent d'associer à la réussite les difficultés qui ont dû être affrontées au préalable. Pourtant, la vie de ces personnes fut bien souvent truffée d'obstacles, de complications, d'imprévus, qu'il fallait traverser, à coup d'efforts et de persévérance, pour arriver à bon port.

Matériel requis
Résumé de «Une femme honorable». (p. 79 à 82)

Durée
1 heure (Activité qui peut faire l'objet d'un travail à la maison)

Déroulement de l'activité
1. Lire le résumé de certains pasages du livre de Françoise Giroud «Une femme honorable».

2. Rechercher dans le texte des passages qui démontrent:

- la ténacité des soeurs Maria et Bronia Sklodowska pour fréquenter La Sorbonne, alors qu'à l'époque, l'université russe n'admet encore aucune femme;
- le manque d'assurance de Marie;
- que Pierre Curie ne démontrait pas en bas âge des aptitudes à apprendre;
- que Pierre possédait une haute estime de Marie;
- la détermination, le travail acharné et la ténacité de Marie, qui constituent les assises de sa réussite;
- que la découverte du radium attribuée à Pierre et Marie Curie est en bonne partie l'oeuvre de l'active Marie;

- la chance de Becquerel lorsqu'il a découvert le phénomène de radioactivité;
- les obstacles que Marie dut franchir pour arriver à prouver l'existence du radium;
- l'humilité de Marie face aux honneurs;
- la passion de Marie pour la science, jusqu'à la fin de sa vie.

Discussion
Comparer la perception de cette personne scientifique de grande renommée, Marie Sklodowska-Curie, avant et après la lecture du résumé de sa bibliographie.

Rédaction
Francine Gaulin

MARIE CURIE

1903. Marie Curie et son mari, Pierre, reçoivent le Prix Nobel de physique.

1910. Marie Curie reçoit un deuxième Prix Nobel, de chimie cette fois.

Bien sûr, pensera-t-on, voilà une bien belle carrière, mais réservée à d'autres que nous, gâtés par la destinée. Certes, depuis son plus jeune âge, Marie a manifesté le désir et la soif d'apprendre, de même que l'esprit d'entreprise, la persévérance et parfois l'entêtement nécessaire à toute réussite. Et pourtant que d'embûches, de souffrances et de moments difficiles ont pavé son chemin...

Marya Sklodowska nait à Varsovie, en Pologne, cinquième enfant d'une famille assez aisée. Pourtant sa mère décède peu après la naissance de Marya et une de ses soeurs meurt du typhus à 14 ans.

La famille reste très unie autour du père, professeur, qui inculque à ses enfants l'amour de la culture, du savoir et de la connaissance. Lorsque, disgracié, il perd son emploi, les enfants s'entraident et se jurent assistance pour poursuivre leurs études.

En Pologne, l'enseignement se fait en russe et l'Université russe est alors inaccessible aux femmes. Marie et sa soeur, Bronia, d'un an son aînée, décident de se cultiver par elles-mêmes grâce à l'aide clandestine de professeurs d'université qui se vouent à l'éducation des masses au péril de leur liberté.

Bronia veut aller étudier la médecine à la grande université de Paris, la Sorbonne. Pendant deux ans, elle donne des leçons particulières pour payer son billet de chemin de fer et ses études à Paris. Mais surtout, Marie, qui travaille elle aussi, lui envoie tout ce qu'elle gagne. Quand Bronia sera médecin, ce sera à son tour d'aider Marie.

Marie a l'occasion d'observer le travail en laboratoire chez son cousin. Elle dira: «... tout en apprenant à mes dépens que le progrès en ces matières n'est ni rapide, ni aisé, je développai au cours de ces premiers essais, mon goût de la recherche expérimentale».

Bronia est devenue médecin et en 1891, Marie, âgée de 24 ans, décide de partir elle aussi pour la Sorbonne où elle s'inscrit en licence de sciences. Qui imaginerait que, quinze ans plus tard, elle serait la première femme admise à enseigner dans cette même Sorbonne.

Arrivée de Marie à Paris

Après avoir logé chez sa soeur, elle décide de prendre une petite chambre où elle pourra travailler avec acharnement. Mais comme elle est très pauvre, il fait froid dans sa chambre et elle mange très peu. Grâce à la connaissance du français acquise avec son père, elle parvient à maîtriser le langage scientifique français et au bout de deux ans, elle se présente aux examens, malade d'angoisse. Pourtant, elle se classe première et obtient la licence ès sciences physiques, préalable à la poursuite de ses études.

Ayant pu obtenir une bourse, elle réussit bientôt à la licence en mathématiques.

Rencontre de Pierre Curie

En 1894, Marie qui a maintenant 26 ans, fait la connaissance du physicien Pierre Curie, âgé de 35 ans, qui vit encore chez ses parents.

Pierre n'a pas suivi la filière scolaire habituelle. En effet, son père, le trouvant trop rêveur, distrait et sensible, a voulu lui épargner la rigueur de l'école. Pierre a appris à lire et à écrire avec sa mère, tandis que son père lui a montré la nature et l'a laissé se cultiver seul dans sa grande bibliothèque. À 14 ans, Pierre, confié à un professeur, découvre les mathématiques avec passion; à 16 ans, il obtient le baccalauréat, diplôme de fin d'études secondaires, et à 18 ans, la licence de mathématiques.

Quand Marie fait sa connaissance, ils parlent beaucoup ensemble de physique, d'eux-mêmes et des recherches de Pierre. Celui-ci travaille avec son frère. Ensemble, ils ont déjà découvert la piézo-électricité qui mènera à la montre à quartz et au microphone à ultra-sons, et conçu des instruments minutieux: un électromètre à quartz capable de mesurer les courants électriques de faible intensité et une balance magnétique permettant d'équilibrer les forces de l'ordre de .01 mg.

Après des vacances en Pologne auprès de son père, Marie convaincue par Pierre, revient à Paris et ils se marient très simplement en 1895.

Pierre devient professeur et Marie peut utiliser le laboratoire de l'École à condition d'assumer les frais des travaux qu'elle exécute. Elle entreprend ses recherches dans le domaine du magnétisme où Pierre possède déjà une longue expérience.

En 1897, après une grossesse difficile, elle met au monde une fille, Irène, qu'elle décide d'entourer d'amour sans toutefois songer à abandonner ses activités.

Recherche passionnée sur la radioactivité

Marie s'intéresse aux travaux d'un physicien français, Henri Becquerel, spécialiste de la fluorescence ou émission de rayons lumineux par certains corps après leur exposition à la lumière. Becquerel se demande si ce phénomène ne s'accompagne pas de la production de rayons X, nouvellement découverts. Il enveloppe les plaques photographiques dans un tissu noir, les recouvre d'une feuille d'aluminium sur laquelle il pose des cristaux dérivés de l'uranium préalablement exposés au soleil. Il constate que les plaques sont voilées et qu'il y a radiation.

Les jours suivants, comme le soleil ne se montre pas, Becquerel enferme ses plaques telles quelles dans un tiroir, attendant un moment plus propice. Surprise! Quand il reprend ses plaques photographiques et les développe, il s'aperçoit qu'elles sont impressionnées à l'endroit où se trouvaient les cristaux. C'est ainsi qu'il découvre que les sels d'uranium émettent des rayons qui eux aussi traversent la matière.

Marie, encouragée par Pierre, voit dans cette découverte un terrain intéressant pour une thèse de doctorat. À trente ans, par amour de la science, elle commence donc, sans le savoir, à s'exposer au phénomène qui fera souffrir Pierre et finira par la ronger.

Elle cherche si, à part l'uranium, d'autres minerais rendent l'air conducteur d'électricité, possèdent de la «radioactivité», comme elle nomme ce phénomène. Oui, constate-t-elle, c'est le cas pour le thorium, mais encore bien plus pour la pechblende et la chalcolite. Elle pressent avec une quasi-certitude qu'il doit exister une autre substance beaucoup plus radioactive et encore totalement inconnue.

Pierre, intrigué par l'hypothèse que pose sa femme, s'associe volontiers à ses intenses recherches. En 1898, ils pèsent fébrilement la pechblende et après quelques mois, annoncent la découverte d'un élément encore inconnu qu'ils nomment «polonium» en souvenir du pays natal de Marie. Mais ce métal s'extrait difficilement et poursuivant leurs expériences, ils concluent que la pechblende doit contenir un élément encore plus radioactif qu'ils nomment «radium» en décembre 1898.

Cette découverte révolutionnera la science. Toutefois, Marie sait rester réservée lorsque des collègues ou des élèves de Pierre viennent au laboratoire. Pourtant, c'est elle qui mène les discussions lorsqu'en tête à tête, ils étudient leur champ de recherche. Les deux époux ont une immense estime l'un pour l'autre et Pierre reconnaît avec plaisir la supériorité de sa femme en mathématiques.

Maintenant, il s'agit d'établir scientifiquement les caractéristiques du radium et en particulier son poids atomique. Or, le radium se trouve en quantité infime dans la pechblende. Pendant deux ans, les Curie doivent traiter à la main des tonnes de minerai pour obtenir quelques milligrammes de radium relativement pur.

Pierre et surtout Marie s'exténuent dans un hangar mal aéré, les mains mal protégées, à purifier le minerai à l'aide d'un gaz toxique. Pierre ressent des douleurs dans les jambes; Marie, extrêmement pâle, semble rongée par la tuberculose. En juillet 1890, elle peut enfin pouvoir écrire dans son carnet «Radium pur en capsule».

On lui offre un poste d'enseignante à la célèbre École supérieure de Sèvres où, désormais, des chimistes s'occupent à sa place de la première phase d'extraction du radium. Marie, elle, s'entête à purifier toujours plus le radium par la méthode de cristallisation fractionnée qu'elle a conçue.

En mars 1902, son obstination a finalement raison de tous les obstacles matériels et physiques. Elle obtient le poids exact d'un atome de radium.

Le monde entier s'en réjouit, car on connaît l'influence du radium pour le traitement du cancer. Sollicitée par une entreprise américaine désireuse d'exploiter le radium, Marie Curie décide de ne pas demander de brevet qui les enrichirait, mais de communiquer le résultat intégral des ses recherches pour profiter à la science mondiale.

Peu après, elle est la première femme à soutenir une thèse de doctorat à la Sorbonne. Elle obtient la mention «Très honorable».

Marie accouche à cette époque d'un enfant prématuré qui meurt peu après, probablement victime des effets encore inconnus de la radioactivité.

Prix Nobel

En 1903, Pierre et Marie Curie reçoivent le Prix Nobel pour leur découverte si utile à l'humanité. Pourtant, ils ressentent comme un énorme poids la gloire et la perte d'intimité inhérente à cette imposante distinction.

Marie donne alors le jour à une autre fille, Ève, et elle décide de souffler un peu pour profiter de la vie.

Mort accidentelle de Pierre

Hélas, en avril 1906, Pierre, son mari très cher, son collaborateur et de plus son grand ami, est renversé par un cheval, un soir de pluie, dans une rue encombrée. Il meurt peu après et Marie ne surmontera jamais cette douleur atroce qu'elle taira, de crainte de la voir se raviver.

En mai de la même année, on lui attribue la chaire de physique générale créée pour Pierre. Elle est la première femme à accéder à un poste dans l'enseignement supérieur.

Pourtant, elle doit lutter encore contre les doutes de certains scientifiques qui prétendent que le radium n'est pas un élément. Pour leur prouver le contraire, elle doit isoler le métal lui-même. Heureusement, elle n'est plus seule à exécuter laborieusement toutes les manipulations et son obstination orgueilleuse l'aidera à lutter avec acharnement pendant quatre ans pour faire triompher son idée.

Son autorité est maintenant solidement établie. Pourtant en 1911, deux voix lui manquent pour obtenir la chaire qu'elle postulait à l'Académie des Sciences: celle-ci est attribuée à un homme.

En novembre, elle reçoit le Prix Nobel de chimie. C'est la première fois que deux Prix Nobel sont attribués à la même personne.

En 1913, l'Institut Pasteur et l'Académie de Paris créent ensemble l'Institut du radium dont Marie dirigera une section avec plus de trente collaborateurs.

Dévouement pendant la guerre

Loin de s'enfermer dans la recherche pure, elle n'hésite pas dès le début de la première guerre mondiale à oeuvrer pour les troupes. Elle se met en tête de réunir tout le matériel nécessaire pour pouvoir radiographier rapidement les blessés et ainsi mieux les soigner. ... Et, encore une fois à force de démarches et d'efforts, elle réussit à équiper 20 voitures et 200 postes fixes qui prendront plus d'un million de radiographies entre 1917 et 1918!

Elle a maintenant une précieuse collaboratrice: sa fille aînée, Irène, qui, plus tard, obtiendra elle aussi le Prix Nobel de chimie avec son mari, Frédéric Joliot.

En plus d'être une femme de science, douée certes, mais aussi acharnée et courageuse, Marie Curie a su agir en mère intelligente. Même prise par ses intenses recherches, elle a tenu à veiller à l'éducation d'Irène et d'Ève et à développer autant leurs aptitudes manuelles qu'intellectuelles. «Elle les protégea sans les écraser, les aima sans les couver», comme le dit très bien Françoise Giroud.

Appui international

Tout comme Pierre, Marie Curie a toujours fui la publicité et les entrevues. Pourtant, contre son gré, elle rencontre en 1920 une journaliste américaine, Missy, avec qui elle sympathise profondément et qui lui ouvre les portes de l'Amérique. En effet, sachant que Marie a besoin d'un gramme de radium pour poursuivre ses recherches, Missy entreprend outre-Atlantique une campagne de souscription. Marie est invitée avec ses filles à venir recevoir le radium des mains du président des États-Unis, puis à sillonner le pays pour donner des conférences et recueillir d'autres fonds. Épuisée, elle doit annuler une partie de sa tournée, mais ses filles prennent efficacement la relève.

La santé de Marie est précaire depuis longtemps. Pierre et Marie ont, sans le savoir, ressenti très tôt les effets de leur exposition constante à la radioactivité: douleurs dans les jambes et les mains, amaigrissement, fatigue inexplicable. Marie a dû faire face à des grossesses difficiles, elle souffre d'hypotension et perdra en grande partie la vue.

Pourtant, même si elle ne voit presque plus, elle cache son infirmité, continue à professer à la Sorbonne et à oeuvrer inlassablement dans son laboratoire dont la renommée est maintenant mondiale. Elle suit avec joie

les recherches fructueuses menées par sa fille Irène et son gendre. Soutenue par sa passion pour la tâche entreprise, elle retourne aux États-Unis où le président lui remet encore une fois la somme nécessaire pour l'achat d'un autre gramme de radium qu'elle enverra en Pologne où travaille Bronia, sa soeur.

Marie a 65 ans. Après plusieurs interventions chirurgicales aux yeux, elle est victime de plusieurs malaises, puis d'une fièvre persistante et élevée dont les médecins ne peuvent diagnostiquer la cause. Discrètement entrée dans un sanatorium, elle meurt l'année suivante après avoir refusé la piqûre qui aurait pu atténuer ses souffrances.

Condensé rédigé par Arlette Chiasson d'après: Françoise GIROUD. Une femme honorable, Paris, Fayard, 1981.

15 Les scientifiques sont bornés

Mythe
Si l'on veut réussir en sciences, il faut se borner aux sciences. Les scientifiques ne s'intéressent qu'aux sciences.

Anti-mythe:
Les scientifiques les plus brillants ont souvent une grande ouverture d'esprit et une culture générale remarquable.

Objectif
Prendre conscience que faire de la science est une activité qui, comme bien d'autres (sports, musique, politique), nécessite des efforts et des sacrifices de même que certaines aptitudes. Sauf exception, l'ouverture d'esprit est une des caractéristiques des gens qui ont laissé leur marque, et ce, peu importe le domaine dans lequel ils ont oeuvré.

Matériel
Test de connaissances générales (pp. 86 à 87)
Notice publicitaire du livre La partie et le tout (p. 88)

Problématique
Les scientifiques ordinaires s'intéressent aux arts, à la culture ou à la politique de la même façon que s'y intéresse la population en général. Cependant, les scientifiques les plus remarquables ont souvent une grande ouverture d'esprit et une culture générale plus étendue, ce qui est également vrai des gens brillants de toute sphère d'activité, que ce soit en musique, en littérature, en politique ou en économie. Toutefois, la réputation qu'ils se sont acquise résulte habituellement de leur contribution dans leur champ de spécialisation et non pas de leur personnalité ou de leur grande culture.

L'image du «savant» qui est la plus populaire est celle du solitaire acharné, désintéressé des choses matérielles et voué entièrement à l'avancement de la connaissance et au bien-être de l'humanité. Le «savant» gagne aussi à être d'une candeur et d'une naïveté enfantines. Le savant fou, qu'il soit bon ou méchant, aura aussi toujours des adeptes; on n'a qu'à penser au professeur dans le film «Back to the future». Ce type de savant n'a jamais existé que dans les films.

La plupart des mythes que l'on retrouve à l'égard des sciences ont leurs origines dans les idéaux philosophiques des scientifiques du XVIIe, du XVIIIe et du XIXe siècle ou dans le comportement idéalisé de ces dieux du savoir que nous a fourni l'histoire (à lire dans le sens de conte de fées).

Les scientifiques modernes, des plus illustres aux plus modestes, sont des individus comme les autres. Certains se distinguent par leur grande connaissance d'un sujet très spécialisé, d'autres, par leurs grandes connaissances générales et d'autres encore, par les deux. Comme tout le monde, ils ont des opinions sur divers sujets, mais leur réputation de scientifique ne fait pas de leurs opinions autant de vérités scientifiques. Sur bien des sujets, ils sont tout aussi informés ou ignorants que la population en général. Quand ils se prononcent sur ces sujets, leur point de vue n'est ni meilleur ni pire que celui des autres. Tout au plus comporte-t-il des éléments qui traduisent leurs visions des choses sous un angle qui dépend fortement de leurs connaissances, de leur formation, de leurs ambitions, de leurs intérêts et de leur vécu particulier. Comme tout le monde...

Dès que quelqu'un atteint une certaine notoriété dans le domaine scientifique, il est fréquemment appelé à donner son point de vue sur diverses questions qui sont souvent loin de son champ de compétence. Certains (mais pas tous) avoueront d'emblée leur ignorance et mettront leurs interlocuteurs en garde à cet effet. Toutefois, on constate que plusieurs ont réfléchi longuement et profondément sur des sujets qui, bien qu'apparamment très éloignés de leurs préoccupations, les ont fortement influencés au cours de leur vie ou de leurs travaux.

Ainsi ont-ils laissé des ouvrages, certains très intéressants et pertinents, d'autres tout à fait insignifiants, faisant état de leurs vues politiques, sociales, culturelles et philosophiques. Ces écrits surprennent lorsqu'on apprend qui en sont les signataires. Il est temps qu'on reconnaisse que spécialisation et compétence n'équivalent pas à étroitesse d'esprit et que l'intérêt passionné que l'on peut vouer à un domaine de connaissances ne signifie pas qu'il faille pour autant y sacrifier toutes ses passions.

Déroulement de l'activité

Sous prétexte de vérifier leurs connaissances générales en littérature, en philosophie et en science, demander aux élèves de répondre aux questions du «Test de connaissances générales».

À la lumière des résultats de ce test et de la lecture de la notice publicitaire du livre «La partie et le tout» amorcer une discussion sur les préjugés voulant que les scientifiques sont bornés, ne connaissent et ne veulent connaître que la science.

Discussion

- Quelles sont les qualités souhaitables pour envisager une carrière scientifique?
- Y a-t-il un lien quelconque entre la physique et la philosophie?
- Croyez-vous qu'il faille tout abandonner (vie sociale, loisirs, sports...) pour faire des études ou une carrière scientifiques?
- Quels sont les secrets de la réussite en sciences?
  - avoir un don particulier?
  - travailler ou avoir beaucoup travaillé cette matière?
  - ne faire qu'étudier?
  - aimer les sciences?

- Croyez-vous que les scientifiques qui s'intéressent à autre chose que leurs recherches sont nécessairement moins productifs?
- Qu'est-ce qui vous attire dans les sciences?
- Qu'est-ce qui vous rebute dans les sciences?
- Croyez-vous que ce vous faites dans vos cours de sciences soit représentatif de ce que font les scientifiques? (Croyez-vous que ce que vous faites dans vos cours de français est représentatif de ce que font les écrivains ou les poètes?)
- Croyez-vous que l'opinion des scientifiques sur un sujet scientifique est meilleure que celle des individus qui n'ont pas de formation scientifique?
- Croyez-vous que l'opinion d'un scientifique sur un sujet divers est nécessairement meilleure que celle des individus qui n'ont pas de formation scientifique?

TEST DE CONNAISSANCES GÉNÉRALES

1. À quel(s) domaine(s) d'activités associe-t-on les noms suivants?

   a) Einstein
   b) Heizenberg
   c) Oppenheimer
   d) Planck
   e) Born
   f) Schrödinger

2. Connaissez-vous l'auteur des livres suivants?

   a) Comment je vois le monde
   b) Conceptions scientifiques, morales et sociales
   c) La physique comme aventure de la connaissance
   d) L'évolution des idées en physique
   e) Épicure, doctrines et maximes
   f) La partie et le tout
   g) La nature dans la physique contemporaine
   h) Physique et philosophie
   i) La science et le bon sens
   j) L'esprit libéral
   k) L'image du monde dans la physique moderne
   l) Positivisme et monde extérieur réel
   m) La responsabilité du savant

3. Voici quelques titres de chapitres extraits de la table des matières d'un livre. Dites dans quel domaine l'auteur est-il spécialisé.

   a) Histoire des sciences
   b) Philosophie des sciences (épistémologie)
   c) Sociologie des sciences
   d) Physique

   III. La notion de «comprendre» dans la physique moderne (1920-1922).....
   IV. Une leçon de politique et d'histoire (1922-1924).....
   VII. Premières discussions sur la relation entre science et religion (1927).....
   IX. Discussions sur le relation entre biologie, physique et chimie (1930-1932).....
   X. Mécanique quantique et la philosophie de Kant (1930-1932).....
   XI. Discussions sur le langage (1933).....
   XII. Révolution et vie universitaire (1933).....
   XIV. L'action de l'individu dans la catastrophe politique (1937-1941).....
   XV. Le chemin du recommencement (1941-1945).....
   XVI. De la responsabilité du chercheur (1945-1950).....
   XVII. Positivisme, métaphysique et religion (1952).....
   XVIII. Controverses politiques et scientifiques (1956-1957).....
   XX. Particules élémentaires et philosophie de Platon (1961-1965).....

RÉPONSES

Question 1

a) Relativité, effet photoélectrique
b) Mécanique quantique et relations d'incertitude
c) Bombe atomique
d) Mécanique quantique
e) Mécanique quantique
f) Mécanique quantique, modèle atomique

Question 2

a, b, c, d, e	Einstein
f,g	Heisenberg
h, i, j	Oppenheimer
k	Planck
l	Born
m	Schrödinger

Question 3

La physique

Il s'agit du livre La partie et le tout de Werner Heisenberg.

La partie et le tout

Notice publicitaire

« Cet ouvrage d'ensemble du grand physicien —auteur de ces «relations d'incertitudes» qui firent couler tant d'encre scientifique et philosophique— est une magistrale évocation d'une période essentielle de l'atomisme contemporain: l'ère des découvertes décisives. L'illustre prix Nobel retrace, chapitre par chapitre, de 1920 à 1965, le déroulement des choses, les hésitations et les enthousiasmes, les propos ou discussions avec les plus grands savants du temps: Einstein, Bohr, Dirac, Pauli, etc. Le tout sous forme de conversations librement échangées, souvent lors de randonnées en montagne ou sur mer. On y trouve aussi bien les vues des partenaires sur la philosophie, la religion, les rapports avec le pouvoir, dans une histoire vertigineuse qui couvre plus de cinquante ans de vie nationale.

«Car on ne saurait trop insister sur le caractère général, le prodigieux témoignage humain de ces pages, bien au-delà de leur valeur proprement scientifique. Drame d'un jeune Allemand affronté au désastre de 1918, effrayante montée du nazisme, spectre de la guerre qu'il estime d'avance perdue, écrasement de 1945 et captivité en Angleterre, tragiques débats de ces grands esprits honnêtes sur les cas de conscience nés des exaltants progrès de leur science appliquée, avec la bombe, aux œuvres de destruction. Sérénité et courage résigné venus avec le temps et l'effort.

Ce document fondamental est d'ailleurs tout éclairé d'art, de musique, d'allusions littéraires que dominent Platon et Gœthe. Une prodigieuse culture vivante et aussi des perspectives inattendues: un Heisenberg obligé d'être valet ou bûcheron. En un mot, on s'attendait certes à trouver un savant, mais on rencontre un **homme.**»

Werner HEISENBERG. La partie et le tout. Paris, Albin Michel, 1972.

16 Comment naissent les mythes (1re version)

Mythe
Ce que disent les spécialistes au sujet de l'évolution des connaissances scientifiques ou encore de la vie et de l'oeuvre des scientifiques est nécessairement fondé et vrai. Je peux donc m'y fier sans crainte.

Anti-mythe
Jamais on ne peut abandonner notre sens critique sous prétexte que ceux qui nous informent ont nécessairement fait preuve d'objectivité et ne fournissent que des faits réels et vérifiables.

Objectif
Prendre conscience que l'idée qu'on se fait des scientifiques et de la science est souvent le résultat d'un enseignement fondé non pas sur les faits historiques mais souvent sur les impressions et les préjugés des spécialistes chargés de résumer, de vulgariser et de diffuser les connaissances acquises dans certains domaines.

Matériel
Extrait du texte: «Galilée et l'expérimentation[1]» (pp. 91 à 92)

Problématique
Lors de la préparation d'un livre de physique, d'un cours ou d'un exposé dans lequel on désire faire mention de la contribution scientifique d'un homme comme Galilée, on se réfère très souvent aux travaux d'historiens des sciences, spécialistes des questions galiléennes.

On sait que le travail de ces spécialistes consiste à étudier les écrits originaux, les correspondances, les passions, bref, la vie de Galilée dans ses moindres détails. Cependant, leurs comptes rendus ne sont pas une pure retranscription des oeuvres originales, mais des résumés, parsemés parfois de commentaires personnels qui ne sont pas toujours identifiés comme tels dans leurs travaux. Il est facile d'imaginer que les lecteurs non spécialistes de la question ne feront pas toujours la distinction entre ce que Galilée a dit et ce que l'historien dit que Galilée a dit. Il s'ensuit souvent une déformation de la réalité historique, qui contribuera parfois à déifier ou à discréditer un scientifique. Ainsi naissent parfois les mythes.

Déroulement de l'activité
Cette activité consiste en une discussion en classe, faite à la suite de la lecture du texte de référence: «Galilée et l'expérimentation» (pp. 91 à 92).

Discussion

- Que penser de l'attitude de Koyré?
- Que penser de l'attitude de Thuillier?
- Une physicienne ou un physicien aurait-il agi comme Koyré ou comme Thuillier?
- Une professeure ou un professeur de physique aurait-il agit comme Koyré ou comme Thuillier?
- En tant qu'élève de physique, auriez-vous agi comme Koyré ou comme Thuillier?
- De telles situations sont-elles fréquentes?
- Comment peut-on se fier à l'information que l'on reçoit?

---

[1] Ce texte révèle une méprise à l'égard de l'aspect expérimental des travaux de Galilée.

GALILÉE ET L'EXPÉRIMENTATION: DE L'ART DE MANIPULER LE VIN ET L'EAU

Alexandre Koyré, sous prétexte de prudence, est certainement allé trop loin en affirmant de manière passablement dogmatique que les seules expériences intéressantes de Galilée étaient des expériences imaginaires, il a contribué à décourager les chercheurs qui auraient pu explorer les aspects expérimentaux de la science galiléenne. Une attitude aussi rigide peut conduire à des catastrophes, comme le montrera un dernier exemple qui, lui, paraît très probant. Dans la première journée des Discours concernant deux sciences nouvelles, en effet, Galilée raconte une expérience qu'il présente comme réelle et qu'il raconte ainsi : « *On remplit d'eau un globe de cristal muni d'un orifice pas plus large qu'un brin de paille, puis on le retourne vers le bas : l'eau malgré sa gravité considérable et sa propension à descendre dans l'air, celui-ci malgré sa disposition contraire pour s'élever, refusent l'un comme l'autre de passer par l'orifice et demeurent tous deux opiniâtrement sur leur position; si en revanche on place l'ouverture dans un récipient contenant du vin rouge, dont la gravité est à peine inférieure à celle de l'eau, on verra aussitôt celui-ci s'élever lentement dans l'eau sous forme de traînées rouges, et cette dernière, avec une égale lenteur descendre dans le vin, sans se mélanger, si bien qu'en fin de compte le globe se remplira complètement de vin et l'eau passera tout entière dans le récipient inférieur* [48]. » Les informations données par Galilée sont d'une grande clarté; et l'expérience est facile à répéter. Or Koyré, lui, s'est dispensé de regarder expérimentalement ce qu'il en était. Ce qui ne l'a pas empêché de conclure que cette expérience était imaginaire.

Galilée, déclare-t-il spirituellement, n'a sans doute «jamais mis de l'eau dans son vin »; et le récit de ces observations n'est pas vraisemblable. Tout au plus, Galilée a « entendu parler » d'une expérience de ce genre; mais il est difficile de croire qu'il l'a réalisée. En effet, déclare Koyré, il suffirait de refaire cette « expérience surprenante » pour constater que les choses ne peuvent pas se passer ainsi : « On verrait bien le vin monter dans le ballon de cristal (rempli d'eau) et l'eau descendre dans le vase (rempli de vin); mais on ne verrait pas l'eau et le vin se substituer purement et simplement l'un à l'autre: on verrait se produire un mélange [49]. » Et l'historien des sciences va jusqu'à refaire (mentalement) l'expérience sous une forme différente. Au lieu d'un orifice, il en faudrait deux. Un petit tuyau (ou une paille) A pointerait vers le haut, c'est-à-dire vers l'eau; un petit tuyau (ou une paille) B pointerait vers le bas, c'est-à-dire vers le vin: « On verrait alors, écrit Koyré, un trait de vin jaillir du tuyau A vers le haut du ballon, et un trait d'eau vers le bas du vase, le vin s'accumulant en haut et l'eau en bas. Hélas! même dans ce cas, il y aurait mélange; en outre, c'est d'un orifice et non de deux que Salviati [le porte-parole de Galilée] munit son ballon; et il ne lui adjoint pas de paille. »

Le malheur, c'est que l'interprétation de Koyré est fort mal confirmée par l'expérience. Pour le montrer, James MacLachlan a répété en 1971 les opérations décrites par Galilée. En utilisant plusieurs dispositifs analogues ou identiques au dispositif original, il a observé le phénomène annoncé. Dans certains cas, il s'est servi d'une paille pour assurer la communication entre les deux liquides. Les résultats sont semblables; la présence d'une paille ou d'un petit tuyau n'introduit aucune variation sensible. (Ce dernier dispositif me paraissant plus commode, c'est celui que j'ai utilisé pour faire cette expérience élémentaire; voir note à la fig. 7, page suivante). Les grandes lignes de la description de Galilée sont donc manifestement exactes. Et les historiens des sciences qui en doutent, comme Alexandre Koyré ou Maurice Klavelin à sa suite, auraient pu aisément le vérifier.

Bien que cela puisse paraître surprenant, on voit le vin s'élever sous la forme d'un filet, traverser l'eau et s'accumuler lentement dans le haut du récipient supérieur. En même temps, l'eau s'écoule dans le récipient inférieur et s'accumule dans le fond sans que se produise aucun mélange. À noter cependant que, au bout d'un certain temps des perturbations se produisent généralement: quand la moitié du vin et la moitié de l'eau se sont remplacées, le vin et l'eau tendent à se mélanger. Ce phénomène se produit de façon progressive; il est dû, sans doute, aux légères turbulences qui finissent par se créer. Il est donc difficile d'obtenir un échange absolument parfait et complet de l'eau et du vin. Galilée en affirmant qu'il a constaté un tel résultat, « idéalise » certainement l'expérience; il opère un passage à la limite... Mais, malgré cela, on peut considérer qu'il a réellement fait (ou vu faire) la manipulation qu'il décrit. Contrairement à ce que dit Koyré, elle n'a rien d'imaginaire ni d'« impossible » en soi. Le mélange

des deux liquides ne se produit que tardivement; et le récit des *Discours*, pour l'essentiel, est « réaliste ». De nouveau, on est conduit à reconnaître les talents expérimentaux de Galilée. Le fait qu'une telle expérience puisse paraître banale à un physicien moderne ne change rien à l'affaire. Inutile de supposer, avec Alexandre Koyré, que les vins du XVII[e] siècle avait des propriétés spéciales « qui les rendaient immiscibles à l'eau »...

FIGURE 7

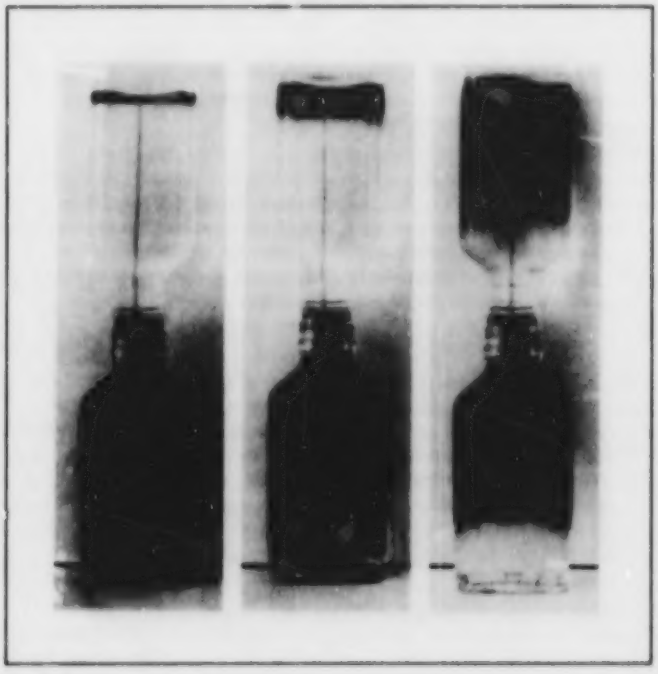


Fig. 7. Dans les Discours sur les deux sciences nouvelles, Galilée raconte une expérience assez simple. En deux mots, elle consiste à mettre en contact, grâce à un petit orifice, un récipient supérieur contenant de l'eau et un récipient inférieur contenant du vin rouge. On voit alors, déclare Galilée, le vin s'élever lentement à travers l'eau « sous forme de traînées rouges » et s'accumuler dans le haut du récipient supérieur. Systématiquement, l'eau descend lentement dans le vin, sans se mélanger lui, et s'accumule au fond du flacon inférieur. Certains historiens (et en particulier Alexandre Koyré) ont pensé que ce phénomène ne pouvait pas se produire et que l'expérimentation décrite par Galilée était « imaginaire ». En fait elle est aisément réalisable, ainsi que l'a montré James MacLachlan en 1971 en la répétant sous plusieurs variantes. J'ai pour ma part refait l'expérience en utilisant un montage très commode qui consiste à relier un flacon d'eau et un flacon de vin par un bouchon que traverse un très court tuyau (5mm de diamètre environ). La description donnée par Galilée apparaît comme très satisfaisante. Au bout d'un certain temps, de légères turbulences provoquent progressivement un mélange partiel de l'eau et du vin. Quand Galilée déclare que les deux liquides peuvent complètement changer de récipients sans se mélanger, il « idéalise » certainement l'expérience... Mais le principe, en tout cas, paraît exact. (Cl. P. Thuillier.)

BIEZUNSKI, Michel (ed). La recherche en histoire des sciences. Paris, Seuil, octobre 1983, pp. 113 à 148.

17 Comment naissent les mythes (2e version)

Mythe
Ce que disent les spécialistes au sujet de l'évolution des connaissances scientifiques ou encore de la vie et de l'oeuvre des scientifiques est nécessairement fondé et vrai. Je peux donc m'y fier sans crainte.

Anti-mythe
On doit utiliser son sens critique, même face à ceux et celles qui nous informent et qui sont sensés avoir fait preuve d'objectivité, de rigueur et d'honnêteté intellectuelle.

Objectif
Prendre conscience que l'idée qu'on se fait des scientifiques et de la science est souvent le résultat d'un enseignement fondé non pas sur les faits historiques mais souvent sur les impressions et les préjugés des spécialistes chargés de résumer, de vulgariser et de diffuser les connaissances acquises dans certains domaines.

Matériel
Une bouteille de vin rouge
Une bouteille d'eau distillée
Un tube de verre
Le texte «Galilée et l'expérimentation: de l'art de manipuler le vin et l'eau» (pp. 91 à 92)

Déroulement de l'activité
Après une présentation sommaire de la façon dont diffusent des fluides miscibles, vous faites une démonstration expérimentale avec une goutte de vin rouge dans un volume d'eau distillée.

Vous racontez ensuite à vos élèves qu'un jour, un de vos neveux vous a rapporté de quelle façon le frère d'un de ses amis lui avait décrit comment le vin rouge diffuse dans de l'eau à travers un petit orifice pratiqué dans les bouchons de deux bouteilles placées l'une par-dessus l'autre.

Puis, vous affirmez que vous ne croyez pas à cette description et que vous êtes convaincu que le frère de l'ami de votre neveu n'a certainement jamais fait l'expérience lui-même, puisque vous venez à l'instant d'observer comment s'effectue la diffusion et que cela ne correspondait pas du tout au compte rendu de votre neveu.

Vous demandez alors aux élèves s'ils croient que cette description est réaliste, s'ils croient que le frère de l'ami de votre neveu est un farceur ou s'il a pu réellement faire l'expérience.

Vous leur demandez ensuite de prédire comment ils pensent qu'auraient dû diffuser le vin et l'eau et vous leur demandez aussi de justifier leur prédiction.

À la suite de cette expérience, faites-leur lire le texte «Galilée et l'expérimentation: de l'art de manipuler le vin et l'eau».

Discussion

Discuter en classe à partir des observations et des commentaires suscités par la lecture du texte.

- À quel personnage du texte associez-vous votre attitude?
- Est-ce que la position du professeur ou de la professeure sur la question a influencé votre jugement? Comment?
- Avez-vous songé à faire l'expérience lorsque j'ai affirmé ne pas croire la description de mon neveu?
- Avez-vous l'impression d'avoir été bernés?
- Quelle leçon tirez vous de cette mise en scène?

18 Le vrai scientifique est toujours sûr de lui

Mythe
On reconnaît un vrai scientifique à sa capacité de discerner facilement et rapidement le vrai du faux, les bonnes théories des mauvaises.

Anti-mythe
Compte tenu de la quantité incroyable de connaissances que les élèves doivent assimiler en un laps de temps relativement court, même les performances qu'ils jugent ordinaires sont tout à fait remarquables. Les scientifiques qu'ils admirent connaissent les mêmes difficultés: ils doivent se faire une opinion à partir de leur intuition, de leur jugement et de leurs connaissances; ils peuvent se tromper comme n'importe qui. Le processus par lequel ils finissent par se faire une opinion est souvent long et laborieux.

Objectif
Prendre conscience que les hésitations, les erreurs et les confusions ressenties au moment de l'apprentissage sont normales.

Matériel
Texte: «La physique nouvelle et les quantas» (p. 97)

Problématique
Les élèves qui ressentent une sorte de frustration ou de sentiment d'infériorité du fait de ne pouvoir comprendre les notions qu'on leur enseigne dès le premier abord se sentent souvent ainsi à cause de la croyance erronée que les vrais scientifiques comprennent aisément et complètement toute cette science.

S'ils ont l'impression que les scientifiques sont infaillibles, ou moins faillibles ou encore qu'ils ont un meilleur sens de discernement que la majorité de la population, c'est qu'on fait rarement état du cheminement qui a conduit ces derniers à énoncer leurs théories. C'est d'ailleurs un cheminement habituellement long et laborieux, au cours duquel ils ont assemblé au fil des erreurs, des hésitations et des recommencements les arguments souvent subtils qu'ils semblent manipuler avec une aisance déconcertante. Mais cette aisance n'est souvent qu'apparente.

Déroulement de l'activité
- Faire lire le texte : «La physique nouvelle et les quantas».
- Discuter le texte en classe.

Discussion

Faire valoir qu'il est normal et parfois même souhaitable de remettre en question les conceptions admises autant que ses propres convictions. Ce genre de questionnement est le processus par lequel se clarifient les concepts. Plus la critique est forte, plus les arguments (pour ou contre) doivent être solides. C'est cette errance qui caractérise le développement des connaissances et non pas un cheminement linéaire, ordonné et conforme à la méthode scientifique comme il est souvent admis.

On insistera donc sur la nature hésitante, confuse et intuitive du cheminement de Louis de Broglie qui a quand même développé le concept révolutionnaire de la nature ondulatoire de la matière. Il est bon alors de faire remarquer que l'auteur a mis quarante ans à se faire une idée définitive. Ainsi, le fait qu'un élève doute, hésite ou ne comprenne de façon satisfaisante qu'après quelques heures, quelques jours ou même quelques semaines est très remarquable.

On peut également mentionner que les programmes actuels sont tellement chargés qu'il est pratiquement impossible de faire autant de place aux théories fausses qu'aux théories vraies. Nous sommes conscients que nous ratons, de ce fait, l'occasion de débattre les arguments fondamentaux qui ont servi à élaborer les théories qu'on enseigne. Or c'est ce type de débats qui favorise le développement de cet esprit critique, innovateur et articulé qui caractérise l'aisance en science tant théorique qu'appliquée.

LA PHYSIQUE NOUVELLE ET LES QUANTAS

«À cette époque, j'avais abandonné mes idées primitives, développées de 1922 à 1928, sur la signification profonde de la «mécanique ondulatoire» et je m'étais rallié dans mes publications et dans mes enseignements au point de vue adopté par Born, Borh et les jeunes chercheurs de l'école de Copenhague. Ceux-ci, entraînés dans cette voie par les travaux très beaux et les idées à mon avis un peu inexactes de Schrödinger, avaient substitué à mes idées primitives des formalismes très intéressants qui conduisaient à un très grand nombre de prévisions exactes, mais qui ne correspondaient pas du tout aux intuitions physiques qui m'avaient guidé dans la découverte de la mécanique ondulatoire.

«C'est seulement dans la période de 1948-1952, qu'après avoir longtemps étudié et enseigné ces formalismes, un doute s'est glissé dans mon esprit au sujet de l'exactitude de la nature indéterminée et acausale qu'on avait été amené à attribuer aux phénomènes microphysiques et que je m'étais résigné à admettre contrairement à mes convictions primitives.[...]

«À partir de 1952-1953, ma conversion est effectuée et je reprends, en les complétant et en les approfondissant progressivement, mes idées primitives... J'avance cependant peu à peu et, à partir de 1962, ma mise à la retraite de la Faculté des sciences et le fait que je suis parvenu à recruter pour m'aider quelques jeunes chercheurs de valeur m'ont permis de préciser et d'étendre considérablement les conceptions que je propose...

«... Mais j'ai tenu dans cette introduction à prévenir le lecteur qu'en tout ce qui concerne l'interprétation des théories formellement exactes qui est encore usuellement enseignée et à laquelle j'adhérais au moment où a eu lieu la première édition de ce livre, mon opinion s'est entièrement modifiée. Cette mise au point permettra d'éviter les erreurs qui ont été fréquemment commises dans ces dernières années, notamment dans des exposés d'ordre philosophique, sur mon attitude actuelle en face du problème fondamental des ondes et des particules qui m'a constamment préoccupé depuis ma première jeunesse.»

DE BROGLIE, Louis. La physique et les quantas. Paris, Seuil, 1974.

19 La science au service de l'ésotérisme et de la mystique

Mythe
La science a réponse à tout.

Anti-mythe
On prête souvent à la science un pouvoir qu'elle n'a pas.

Objectif
Prendre conscience qu'il existe des domaines où la science est impuissante et n'a souvent aucune raison d'être. Faire preuve de sens critique et de discernement à l'égard des discours pseudo-scientifiques.

Matériel
Texte: «La science au secours de l'ésotérisme» (pp. 100 à 101)

Problématique
Plusieurs adeptes de l'ésotérisme qui se disaient jadis investis de pouvoirs magiques ou de connaissances révélées se réclament aujourd'hui de pratiquer la science dans des domaines que la science officielle refuse d'étudier. Certains d'entre eux ont compris que la science exerce auprès d'une bonne partie de la population la même fascination que la magie, avec en plus tout un prestige, une admiration et une reconnaissance que la magie et le mysticisme ne sauraient engendrer.

Comme il est vrai que la science a levé le voile sur un grand nombre de phénomènes longtemps considérés comme magiques, il n'est pas surprenant que des personnes associent la science à leur entreprise mystifiante. Une explication paraît toujours «plus vraie» de nos jours lorsqu'elle utilise le langage scientifique ou lorsqu'elle semble procéder d'une méthode scientifique.

Ainsi, l'utilisation du langage scientifique pour expliquer des phénomènes ésotériques, non scientifiques ou religieux a souvent pour effet de fournir une «apparence» d'explication parce que le langage semble «précis», «rigoureux», «méthodique». Mais l'explication demeure inexistante; on a tout simplement changé de discours.

Déroulement de l'activité
Faire lire le texte «La science au secours de l'ésotérisme».

Demander de retrouver dans les journaux, les revues ou les émissions télévisées des exemples similaires.

Le cours suivant, amorcer en classe une discussion en essayant de faire comprendre que l'abus de langage scientifique sert à donner à l'ésotérisme un caractère scientifique qui ne se retrouve pas dans sa démarche et ses objectifs.

Discussion

- Pourquoi la science officielle et les scientifiques refusent-ils d'étudier les phénomènes ésotériques?

- Si la science ne réussit pas à satisfaire les demandes d'explication que lui adressent les mystiques, pourquoi certains parmi eux s'acharnent-ils à s'attribuer le statut de scientifiques auprès de leurs «fidèles»?

- Pourquoi trouve-t-on autant d'émissions et de chroniques d'ésotérisme et particulièrement d'astrologie dans la programmation de presque toutes les stations de radio et de télévision, et pratiquement aucune émission d'astronomie?

- Doit-on rejeter l'ésotérisme sous prétexte que la science le rejette?

- Certains scientifiques (anciens et modernes) n'ont-ils pas trempé dans l'alchimie, l'astrologie et la divination?

- Etes-vous superstitieux ou superstitieuse?

LA SCIENCE AU SECOURS DE L'ÉSOTÉRISME

L'objectif de la science est d'expliquer l'univers qui nous entoure. Mais ce travail d'explication du monde peut aussi s'appliquer à un Univers qui traditionnellement ne peut pas se comprendre par l'explication scientifique. Ainsi, dans le journal Le Monde (3 septembre 1976), une dame Choisy avançait l'idée que la science peut nous permettre non seulement de comprendre l'Univers physique, mais peut aussi nous aider à mieux saisir les rites anciens de l'Église.

Un peu partout dans le monde, les récentes transformations de nos églises furent critiquées par certains fidèles qui y voyaient une atteinte à la tradition. Mgr Lefebvre, chef de file du mouvement ultra-conservateur, n'a-t-il pas été excommunié (été 1988) par Rome pour avoir refusé les transformations proposées par le Vatican?

Mgr Lefebvre s'est toujours opposé aux changements à l'intérieur de l'Église, au fait que le prêtre doive maintenant dire la messe face aux fidèles et en français. Il a toujours soutenu que ces changements étaient une atteinte au bon sens et à ce que fut l'Église depuis sa fondation.

Madame Choisy, dans sa lettre, ajoute aux arguments de Mgr Lefebvre en proposant, à l'aide des théories physiques, des explications qui devraient nous convaincre de l'erreur du Vatican. Elle met ici la science au service de la tradition religieuse et vient «sauver» les rites anciens.

«L'église est une construction physique qui ne peut pas être détournée de ses buts. Ainsi, "le temple est une figure géométrique calculée pour former un champ électromagnétique d'une grande puissance" et la position traditionnelle du prêtre, dos tourné aux fidèles, donc "vers le foyer en pleine expansion du soleil naissant", est "une technique de lumière cohérente, comme dirait un physicien moderne". Mieux, "c'est de la physique aussi que relève la vexante question des prières en français". En effet, "c'est le son, le rythme et non le contenu des mots qui amplifient l'énergie", et "le phénomène de résonnance (action à distance d'une vibration sur une autre vibration)", (dixit madame Choisy) explique l'effet quasi-miraculeux qui suit la récitation de certaines syllabes sacrées.» (Lévy-Leblond, 1981)

Tous les concepts utilisés pour expliquer «les rites anciens» ont explicitement une «saveur» scientifique sans évidemment en conserver la rigueur.

Dans un autre domaine, lorsqu'on désire expliquer les présumées propriétés des pyramides, on parlera fréquemment de «la concentration de l'énergie», du «point focal de puissance» ou encore de «résonnance du champ magnétique», «lentille d'énergie cosmique»...

Dans l'hebdomadaire Écho-Vedette, du 19 au 25 mars 1988, on trouvait, à la page 23, la réclame suivante:

«LES JAPONAIS ENCORE PREMIERS ILS INVENTENT DES AIMANTS QUI ÉLIMINENT LES DOULEURS»

Les auto-collants MAGNÉTO soulagent rapidement douleurs et malaises causés par d'innombrables maux qui apparaissent sans raisons apparentes tous les jours.

Un magnéto est un petit diachylon de forme circulaire avec au centre, un micro-aimant 2000 fois la force de l'attraction terrestre que l'on applique aux endroits où l'on ressent la douleur. Son effet est rapide et les résultats sont permanents dans 90% des cas.

Les aimants magnétiques "MAGNÉTO" stimulent les points réflexes d'énergie au moyen d'aimants polarisés.

Selon le Dr Donnet, le mécanisme ed l'aimantation relève de la physique pure. Lorsqu'un aimant est appliqué sur le corps, des ondes électro-magnétiques traversent les tissus et induisent des courants secondaires. Il y a un dégagement de force d'intéraction électromagnétique qui se traduit par un échange de photons, c'es-à-dire d'énergie et il se crée alors des liens bien étroits entre ces différentes particules.

MÉDECINS ET HOPITAUX RECOMMANDENT LES AIMANTS MAGNÉTIQUES

Au Japon, les aimants magnétiques sont reconnus comme traitement anti-douleur par le ministère de la Santé et Bien-Etre et identifiés sous les No. (58B)665.

"L'aimantothérapie est une médecine douce, simple et rapide qui apporte une réponse positive et scientifique à de nombreux problèmes de santé."

- Dr. Louis Donnet

"L'action des aimants équilibre le champ magnétique de la personne qui souffre et renforce l'action curative. Leur efficacité a été prouvée dans 90% des cas."
- Tabata National Hospital (Japon)

"Les aimants magnétiques sont un univers en miniature où l'on retrouve les forces qui agissent dans l'univers. Il faut que chaque famille possède des aimants magnétiques et les utilise au besoin."
- Docteur Bhattacharya

Le prix des aimants:
$19.95 pour 24 aimants magnétiques
$34.95 pour 48 aimants magnétiques...
(Écho Vedette, 19 au 25 novembre 1988, p. 23)

Toute cette terminologie semble ajouter «de la vérité» à ces explications. En utilisant le langage et la forme de l'entreprise scientifique, on leur confère un caractère pseudo-scientifique qui en confondra plus d'un.

La terminologie utilisée renvoie explicitement à la «physique» qui a habituellement la réputation de pouvoir tout expliquer. Comme ce langage explique un ensemble de phénomènes en physique, on laisse croire que la simple présence «du même langage» dans un domaine très éloigné de la physique elle-même peut constituer une explication. On remarquera que la plupart du temps, la démonstration (qui est à la base même d'une explication en physique) disparaît complètement. Lorsqu'on parle des pyramides, de l'autel ou des aimants, on utilise le langage d'une science (ici la physique) sans la science elle-même. Quelles sont les mesures qui ont été faites, s'il y en a eu?

Plus que jamais il faut être vigilant et faire preuve de sens critique face à l'information qui nous parvient.

ADAPTATION
Marc Chabot et Yvon Fortin

RÉFÉRENCE
LÉVY-LEBLOND, J. M. L'esprit de sel. Paris, Fayard, 1981, pp. 133 à 134.

20 Théories: vraies ou fausses?

«De fait, un matériau d'une extrême richesse est offert tant par des théories anciennes, abandonnées après avoir eu leur heure de gloire, que par l'abondante production des éternels marginaux de la science dont les élucubrations, souvent extraordinaires, ne manquent ni de charme, ni de subtilité.»
(Lévy-Leblond, 1981).

Mythe
La science n'admet que des théories qui expliquent de la façon la plus simple possible les phénomènes même les plus complexes. La nature explicative et le critère de simplicité sont deux des éléments considérés pour qu'une théorie soit acceptable et acceptée. Les théories scientifiques acceptées sont donc des théories vraies.

Anti-mythe
Il n'existe pas de théories vraies, mais seulement des théories valables à l'intérieur de certaines limites. C'est la connaissance de l'existence de ces limites, de même que la volonté de faire grandir le domaine de validité des théories, qui pousse les scientifiques à les raffiner et à les réviser continuellement, souvent même jusqu'à les abandonner pour les remplacer par des nouvelles.

Objectif
Comprendre comment on en vient à abandonner une théorie pour passer à une autre et prendre conscience que le processus d'invalidation des théories est inhérent au développement de la physique, particulièrement durant les périodes de transition où les défenseurs, comme les détracteurs d'une théorie, doivent trouver les faiblesses et les erreurs des arguments de l'adversaire de même que les forces et les confirmations de la validité de leurs propres arguments.

Matériel
Texte: «Théorie: vraie ou fausse» (p. 104)

Déroulement de l'activité
Faire lire le texte: «Théorie: vraie ou fausse». À partir de ce texte et des suggestions de questions ci-après, animer une discussion en classe.

Discussion
- Quelles doivent être les caractéristiques d'une théorie pour qu'elle soit acceptable?
- Croyez-vous qu'une théorie doit tout expliquer pour être acceptable?
- Est-ce que toutes les théories actuellement acceptées sont bonnes? Définitives?
- Les scientifiques doivent-ils abandonner une théorie dès qu'ils lui trouvent des failles?

- Les scientifiques acceptent-ils facilement de remettre une théorie en question même lorsqu'ils lui connaissent des failles?
- Quel peut être le rôle d'une théorie fausse dans l'avancement des connaissances?
- Si une théorie acceptée est le fruit d'une démarche scientifique objective et qu'elle est vérifiée par l'expérience, pourquoi n'est-elle pas, par le fait même, bonne et définitive?
- Qu'est-ce qui pousse certains scientifiques à toujours chercher de nouvelles théories? Celles qu'on a maintenant ne suffisent-elles pas?
- Quand peut-on espérer avoir des théories bonnes, universelles et définitives?

THÉORIE: VRAIE OU FAUSSE?

L'astronomie et la physique atomique et nucléaire sont des domaines où l'on évoque souvent les théories fausses et les théories considérées comme actuellement correctes (le système solaire chez Aristote, Ptolémée et Copernic, Képler... ou encore le modèle de l'atome, Thompson, Rutheford et Bohr...). Cet exercice a pour but de montrer l'évolution des concepts et des théories et de faire ressortir la vigueur intellectuelle qui caractérisait ceux et celles qui les ont développés.

Les éléments qui ont fait que l'on en est venu à considérer ces théories comme fausses, de même que ceux qui ont permis aux théories jugées valables ou meilleures de remplacer les précédentes, nous permettent parfois d'établir les raisons de ces changements de statuts des théories.

On dira par exemple, à propos du modèle de Ptolomée, qu'il décrivait le mouvement grossier des corps célestes, mais dès qu'il s'agissait d'expliquer les détails de ces mouvements, il devenait nécessaire d'inventer des corrections qui rendaient le modèle si compliqué qu'on avait peine à l'utiliser pour rendre compte des observations. On peut aussi mentionner que l'argument de simplicité joua contre lui. Certains considéraient que l'harmonie apparemment simple des mouvements des corps célestes ne pouvait pas prendre une forme théorique aussi complexe que celle que fournissait le modèle de Ptolémée dans ses versions finales.

Le modèle de Copernic, quant à lui, permettait de décrire plus complètement les mouvements connus à l'époque, et ce, avec une simplicité incroyable comparativement au modèle de Ptolémée.

C'est d'ailleurs cette complexité croissante sans amélioration du pouvoir explicatif du modèle de Ptolémée qui a incité des savants de l'époque à chercher une nouvelle théorie. À propos de la théorie atomique, on mentionnera qu'au début, les modifications successives des modèles rendaient compte toujours davantage des observations et qu'elles permettaient même des prédictions dont la justesse suscitait l'émerveillement.

Cependant, aujourd'hui, la théorie atomique commence à ressembler au modèle de Ptolémée. Elle ne décrit bien et simplement que les cas les plus simples. Dès qu'on pénètre les structures du noyau et qu'on s'intéresse aux particules élémentaires, on ne peut plus parler de simplicité. On assiste à une prolifération d'hypothèses et de termes correctifs si nombreux et parfois si farfelus qu'il devient difficile de parler d'une théorie au sens classique. Tout au plus peut-on dire qu'il existe un ensemble d'équations se rattachant au même domaine de la physique mais dont l'intégration au sein d'une structure théorique cohérente est devenue impossible.

C'est donc dire le pouvoir explicatif et prédictif très limité des théories en physique des particules élémentaires. Devons-nous déjà dire que dans ces domaines, les théories actuelles sont fausses, même si nous n'en n'avons pas de meilleures en remplacement?

En science, on maîtrise un concept lorsque l'on connaît les limites de sa validité et de sa pertinence. Pédagogiquement, quand on peut bien expliquer où un concept n'opère pas, nous venons d'effectuer un travail de précision essentiel pour une meilleure compréhension des concepts et des théories.

Une bonne formule physique ne nous dit jamais rien sur son origine; nous sommes devant un résultat. Nous contemplons l'aboutissement d'une recherche, mais nous ne savons rien de son histoire. Un concept scientifique n'apparaît jamais devant nous du premier coup; il est le résultat d'une recherche intensive et laborieuse qui nécessite de la part de ses participants de faire preuve d'imagination, de créativité, de rigueur, de méthode et d'acharnement.

On ne le répétera jamais assez: une grande partie du travail scientifique consiste à faire des recherches sur des hypothèses qui ne marchent pas. On imagine mal la patience des scientifiques. On peut se tromper pendant des années sans jamais retrouver le chemin de la vérification. Certains ont investi leur vie dans des recherches qui n'ont mené nulle part, mais leur contribution a peut-être permis à d'autres de réussir là où ils ont échoué. C'est le prix à payer pour faire avancer la connaissance.

Adaptation
Marc Chabot et Yvon Fortin

Référence
LÉVY-LEBLOND, J.M. L'esprit de sel. Paris, Fayard, 1981, pp. 65 à 66.

21 L'intuition dans la méthode scientifique

Mythe
Selon la méthode scientifique, l'observation d'un phénomène conduit directement à la formulation de la théorie pouvant l'expliquer.

Anti-mythe
De façon générale, nous faisons plus spontanément et plus facilement appel à l'intuition et à nos propres modèles lorsque nous voulons expliquer les phénomènes que nous observons et que nous voulons décrire.

Objectifs
Prendre conscience du caractère intuitif des conclusions que l'on peut tirer suite à l'observation d'un phénomène simple.

Prendre conscience que l'observation d'un phénomène simple et même connu, ne suffit habituellement pas pour établir une prédiction du comportement du système observé.

Matériel
Un pendule simple

Problématique
Dans les cours d'introduction aux sciences, on retrouve souvent une description de la méthode scientifique qui devrait caractériser toute recherche, voire toute démarche scientifique.

Cette méthode procède généralement selon les quatre étapes suivantes:

1) l'accumulation de renseignements grâce à l'observation;
2) la classification de ces renseignements et la recherche de traits communs;
3) la détermination de la cause de ces traits communs (modèle, théorie, loi...);
4) la communication du fruit de ses recherches.

On insiste également beaucoup sur le caractère objectif de chacune de ces étapes.

Il faut souvent dépasser l'étape de l'explication intuitive et construire un environnement théorique ou expérimental qui nous aidera à trouver une explication qui vérifie l'expérience.

On pourra mettre en évidence le fait que l'intuition fournit souvent des explications simples mais erronées des phénomènes observés. Une vérification expérimentale révélant le désaccord entre la prédiction et les faits permet de prendre conscience de l'inexactitude de l'interprétation du

phénomène. Il ne reste plus alors qu'à chercher et à trouver une explication correcte grâce à une analyse méthodique.

Parfois abstraite, parfois directe, cette analyse fait souvent appel à des concepts connus mais auxquels on n'avait pas pensé au départ. Elle comporte aussi souvent une bonne part d'intuition, d'imagination et d'originalité.

Il s'agit donc de montrer que les modèles que l'on se fait et avec lesquels on peut décrire ou expliquer le monde qui nous entoure sont basés autant sinon davantage sur la perception (subjective et intuitive) des phénomènes de ce monde que sur leur observation (objective et rationnelle). On va même jusqu'à dire que l'observation objective est impossible, mais que c'est plutôt le cadre artificiel et restrictif dans lequel on se propose de faire une observation qui peut être qualifié d'objectif.

Déroulement de l'activité

Liminaire

Le mouvement d'un pendule est familier à la plupart des élèves. En plus d'avoir pu l'observer à de nombreuses reprises, ils peuvent même y associer des sensations et des émotions, puisqu'ils ont tous servi de masse oscillante lorsqu'ils s'amusaient dans les balançoires ou au bout d'une «corde à Tarzan».

Ils savent donc que le pendule tend à retourner vers sa position d'équilibre, c'est-à-dire le point le plus bas de sa trajectoire, dès qu'on l'éloigne de cette dernière, ce qui en fait un parfait exemple de système en équilibre stable.

Ils savent aussi que la vitesse du pendule est plus grande lorsqu'il passe par la position d'équilibre et qu'elle diminue jusqu'à devenir nulle au fur et à mesure qu'il s'en éloigne. Ils ont même ressenti les accélérations associées à ces changements de vitesse.

Ils savent également que le frottement au niveau des crochets de support et même le frottement de l'air finiront éventuellement par immobiliser le pendule à sa position d'équilibre.

Ils devraient donc, compte tenu de leur connaissance assez poussée du système et des caractéristiques de son mouvement, être en mesure de fournir une description juste du comportement d'un pendule.

Expérience

- Faites osciller un pendule sur un ou deux allers-retours, puis immobilisez-le.

- Rappelez ensuite qu'un pendule simple constitue un exemple parfait d'un système stable puisque lorsque l'on rompt l'équilibre, il a tendance à retourner vers sa position d'équilibre.

- Sur un écran placé derrière le pendule (carton ou tableau), reproduisez la trajectoire du pendule et séparez-la en quatre segments de longueurs égales (distance parcourue). Représentez également la position d'équilibre et les droites d'amplitude. Vous pouvez aussi identifier les segments de trajectoire (voir l'illustration).

- Demandez alors aux élèves d'écrire sur une feuille dans quelle région ils croient qu'on a le plus de chances de trouver le pendule si on l'observe à un instant choisi au hasard. Est-ce autour de sa position d'équilibre ou à proximité des points les plus éloignés de cette position? Vous pouvez aussi leur demander de fournir une brève justification de leurs réponses.

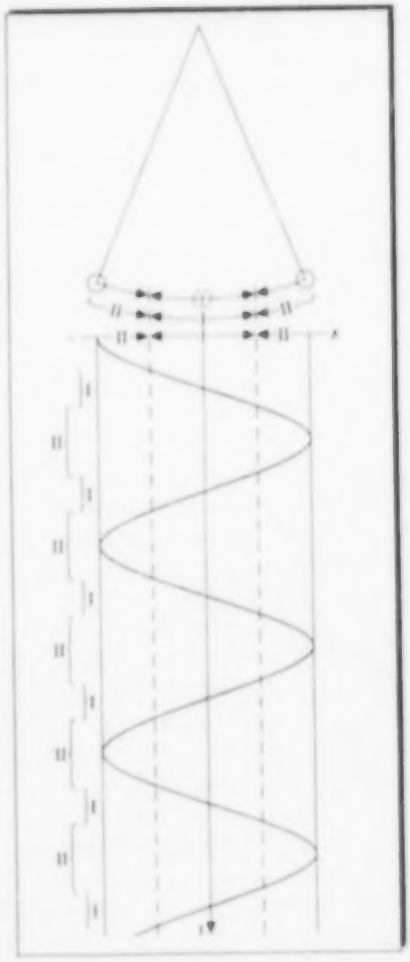
  Habituellement, les élèves croient que le fait que le pendule a tendance à retourner vers sa position d'équilibre (certains expriment cela comme le «désir» de retourner à l'équilibre) fait qu'il y a plus de chances de le retrouver dans la zone centrale.

  Or l'analyse révèle que la chance qu'on a de trouver le pendule dans un secteur donné à un moment quelconque dépend du temps qu'il passe dans cette zone. Ainsi, la vitesse du pendule étant plus grande autour de la position d'équilibre qu'ailleurs, il y passe moins de temps qu'ailleurs (2 fois moins). C'est ce que devrait confirmer les résultats observés.

- Ramassez leurs réponses et dénombrez combien d'élèves ont choisi la région centrale et combien ont choisi les régions éloignées.

- Demandez-leur ensuite de fermer les yeux. Puis, après avoir mis le pendule en mouvement, demandez-leur de noter par écrit la position de ce dernier à l'instant (choisi par eux, au hasard) où ils ouvriront les yeux.

- Recueillez les données du groupe, compilez le nombre d'observations faites dans chaque secteur et faites-en le rapport. Si le groupe est nombreux, il devrait y avoir autour de deux fois plus de cas pour les positions éloignées que pour les positions près de l'équilibre.



- Si le temps le permet, notez les observations faites par tout le groupe simultanément lorsque vous décidez du moment aléatoire d'ouvrir les yeux, et ce, à plusieurs reprises. Compilez les résultats et comparez-les avec ceux de la méthode précédente.

- Dénombrez combien d'élèves ont prédit le résultat obtenu.

- Faites un retour sur les explications qu'ils ont notées et confrontez-les à l'analyse exacte du phénomène.

  Il y aura probablement des notions à clarifier telles: vitesse, temps, période, amplitude ou accélération.

  Le pendule, qui est pourtant un système stable, passe plus de temps loin de la position d'équilibre que proche de celle-ci. On vous demandera peut-être s'il n'y a pas contradiction.

Référence

LÉVY-LEBLOND, J.-M. L'esprit de sel, Fayard, Paris, 1981, pp. 44 à 47.

Discussion

Cette expérience met en évidence les limites des solutions intuitives. Elle permet également de discuter le fait que la démarche déductive, qui, croit-on, devrait caractériser bon nombre de découvertes en science est souvent une reconstruction historique, non conforme à la démarche effectivement réalisée.

La démarche du groupe est plus près du vécu historique: on s'intéresse à un phénomène, on essaie de se l'expliquer, on en fait l'observation, on formule une théorie explicative. On suppose alors que si notre théorie est correcte, elle peut non seulement décrire correctement le phénomène mais peut-être aussi en prédire le comportement. On la vérifie ensuite en la confrontant à d'autres observations. Le plus souvent, il y a désaccord. On recommence en essayant de penser à quelque chose de mieux, et ainsi de suite jusqu'à ce que ça marche.

Cependant, les comptes rendus des scientifiques ne feront pas toujours état de toutes les tentatives infructueuses, parfois, parce qu'ils croient que seule la bonne démarche mérite mention, mais, parfois aussi, pour accroître leur prestige en donnant l'impression que pour eux, c'était facile et évident. Tout cela est humain; à nous de juger si c'est bon ou mauvais. C'est toutefois ce genre de description «officielle» de la démarche scientifique qui donne naissance au préjugé qui veut que l'observation conduit directement au bon modèle.

Questions supplémentaires

Dans le cas où le pendule est amorti, le temps d'un aller-retour diminue-t-il en même temps que l'amplitude? Pour plusieurs élèves, la réponse est «oui» et ils l'expliquent par l'analogie avec le rebondissement d'une balle sur le sol. Dans les deux cas, ce qui frappe l'attention, c'est que l'amplitude diminue progressivement. Mais dans le cas de la balle, l'intervalle entre deux

rebonds est toujours de plus en plus court. La diminution de cet intervalle est facilement mesurable grâce au son perçu par l'observateur.

Or dans le cas du pendule, la variation d'amplitude est frappante, mais il n'y a rien de quantitativement évident quant à la période; aussi étendra-t-on souvent au pendule ce que l'on connaît du mouvement de la balle. Or si l'analogie semble correcte pour ce qui est de l'amplitude, elle est fausse en ce qui concerne la période. Une observation rapide d'un pendule amorti rétablira les faits.

On peut aussi obtenir des résultats intéressants en leur demandant de dire ce qui leur arriverait si on faisait le vide dans la classe (en supposant qu'ils aient des combinaisons leur permettant de respirer et de supporter la baisse de pression), ou encore ce qui arriverait à une personne en chute libre lors de l'ouverture de son parachute.

À la première question, quelques-uns et parfois même plusieurs répondent qu'ils se mettront à flotter comme les astronautes. À la seconde, on obtient souvent une description qui dit que la personne se mettra d'abord à monter, puis qu'elle se mettra ensuite à redescendre.

Il est bon ici de leur demander quelles observations ils ont déjà faites dans chacun des cas, et quelles explications en ont découlé.

Notes/commentaires

Cette activité réussit mieux avec des élèves en première session de mécanique qu'avec des élèves en fin de programme. En effet, ceux-ci ont souvent une représentation assez juste du comportement du pendule, puisqu'ils l'ont étudié à plusieurs reprises en mécanique et en électricité dans les phénomènes de nature périodique. Ils feront souvent une prédiction correcte et il sera plus difficile d'établir la part d'intuition de leur raisonnement.

22 Les scientifiques sont objectifs et désintéressés

Mythe
Les scientifiques sont objectifs et désintéressés.

Anti-mythe
L'objectivité en science est un idéal rarement atteint.

Objectif
Prendre conscience que l'objectivité scientifique est plus un but à atteindre qu'une qualité intrinsèque de la démarche scientifique.

Matériel
Texte: «La science est objective» (p. 112)

Déroulement de l'activité
Faire lire le texte «La science est objective» et animer une discussion auprès de la classe relativement à l'objectivité en science.

- Croyez-vous que les scientifiques peuvent être objectifs?
- Est-ce que la subjectivité est un défaut pour les scientifiques?
- La créativité, l'intuition ou l'originalité sont-elles des caractéristiques objectives ou subjectives?
- Les découvertes sont-elles toujours le fruit d'une démarche logique et rationnelle où la subjectivité n'intervient jamais? (Exemples)
- Si les scientifiques sont objectifs, comment se fait-il qu'ils ne s'entendent pas toujours sur les effets, par exemple des accidents qui surviennent dans les centrales nucléaires, des déversements de pétrole ou de BPC, de la déforestation? Est-ce parce que dans ces cas, la réalité objective n'existe pas?
- Connaissez-vous la position des scientifiques sur la question de la déforestation des régions tropicales? Connaissez-vous la position des scientifiques sur la déforestation du Québec, du Canada, des États-Unis (plus de 75% de la forêt vierge de l'Est américain a été détruite depuis le début de la colonisation)?

- Les arguments de nature économique et écologique ont-ils le même poids dans le discours des scientifiques lorsqu'ils parlent des forêts tropicales (poumon de la Terre) et des forêts de l'Amérique du Nord et de l'Europe (ressource primordiale pour l'industrie des pâtes et papier et de la construction)?

- Est-ce que l'on s'indigne autant des effets de **notre** industrie des pâtes et papier sur **nos** forêts que des effets du développement des champs de cultures agricoles du Brésil sur ses forêts?

- Pourquoi les forêts amazoniennes devraient-elles être considérées comme un bien appartenant à la planète et à l'humanité (souhait exprimé par certains écologistes) et pas les nôtres?

- Peut-on s'attendre à ce qu'une ingénieure ou un ingénieur forestier à l'emploi de l'industrie papetière exploite les mêmes arguments que celles et ceux qui sont au service d'un groupe d'experts en environnement?

Notes/commentaires

L'écologie peut servir à «alimenter» la discussion. Les problèmes d'environnement sont tout indiqués pour montrer que le discours des scientifiques n'est ni plus ni moins objectif que le discours des politiciens ou des industriels. Il ne s'en distingue tout simplement que parce qu'il est basé sur des données de nature scientifique.

Faire ressortir que toutes les questions écologiques comportent autant d'éléments politiques, économiques et sociaux que scientifiques. Faire ressortir également que pour prendre position dans de tels débats, il faut posséder certaines connaissances et un esprit critique, et que même alors, notre prise de position ne saurait être qualifiée plus objective que celle des «experts».

LA SCIENCE EST OBJECTIVE

Le chercheur, pense-t-on le plus souvent, est un modèle d'objectivité. Claude Bernard, dans son Introduction à l'étude de la méthode expérimentale, affirmait: «La méthode expérimentale ne se rapporte qu'à la recherche des vérités objectives et non à celle des vérités subjectives.»

Devant les faits, un chercheur n'a pas de préférence; il est d'abord un observateur. Il se contente de regarder, il se contente de décrire froidement ce qu'il voit. Son guide n'est jamais la passion mais la raison. Si jamais il a des problèmes personnels, il les laisse à la maison. Dans son laboratoire, «ce qu'il est» n'a strictement aucune importance.

Mais...

On confond trop souvent un modèle idéal et la réalité. L'objectivité est avant tout un but que le chercheur vise, mais il n'est pas dedans simplement par un acte de la volonté. Le chercheur ne cesse jamais d'être un individu, dans une société particulière, avec des valeurs et des préjugés. Peut-on aussi facilement laisser en plan la subjectivité, l'imagination, les croyances, les intérêts, les engagements, les investissements sentimentaux? Peut-on aussi croire que la concurrence, les obligations de trouver vite, de supplanter les autres laboratoires, le goût du prestige, les honneurs, les décisions politiques, les orientations idéologiques, les projets sociaux... n'influencent pas également le chercheur dans sa démarche?

Adaptation
Marc Chabot et Yvon Fortin

Référence
LÉVY-LEBLOND, J.-M. L'esprit de sel, Paris, Payard, 1981, pp. 199 à 221.

23 La responsabilité des scientifiques

Mythe
Les scientifiques doivent pouvoir faire abstraction de leur responsabilité morale et sociale s'ils veulent pouvoir se consacrer entièrement à leur recherche.

Anti-mythe
De plus en plus de scientifiques considèrent qu'il est grand temps de faire une priorité des questions d'éthique scientifique compte tenu du rôle toujours croissant qu'ils ont à jouer dans la plupart des secteurs d'activité de la société.

Objectif
Prendre conscience que les problèmes d'éthique ne concernent pas seulement les scientifiques du nucléaire ou du génie-génétique mais nous concernent tous.

Matériel
Texte: «La raison tremble» (p. 114)

Déroulement de l'activité:
À partir du texte «La raison tremble», discuter avec les élèves du problème d'éthique qui se pose dans le cas du tremblement de terre probable en Californie.

Discussion
- Quels arguments peut-on utiliser pour soutenir une telle position: Moralement? Scientifiquement? Économiquement? Socialement? Politiquement?
- Sur quels critères base-t-on de telles décisions?
- Qui prend de telles décisions?
- Est-ce qu'ils avertiront leurs proches et leurs amis?
- Avec laquelle des affirmations suivantes êtes-vous en accord?

1) Les scientifiques agissent toujours dans le sens d'un plus grand bien-être de la population et, par conséquent, ils ne peuvent être tenus responsables des applications qui sont faites des résultats de leurs recherches.
2) Les politiciens et les politiciennes agissent toujours dans le sens d'un plus grand bien-être de la population et par conséquent, ils ne peuvent être tenus responsables des conséquences de leurs décisions.
3) Les militaires agissent toujours dans le sens de l'intérêt national et, par conséquent, ils ne peuvent être tenus responsables des conséquences de leurs actes, même en temps de guerre.

LA RAISON TREMBLE

En 1976, on a craint que le volcan de la Soufrière (Guadeloupe) fasse de nouveau éruption et cause une catastrophe dans l'île. Des experts (dont le Pr Allègre) recommandèrent même une évacuation de cette région de l'île pour sauver la population. D'autres experts pensaient le danger inexistant. Le Gouvernement suivit la recommandation des premiers et fit évacuer à grands frais.

Mais le volcan ne broncha pas et la grave perturbation économique et sociale qui résulta de l'évacuation entraîna le pays au bord du désastre, si bien qu'on engagea par la suite des poursuites judiciaires contre les scientifiques qui avaient prédit la catastrophe.

Cette affaire pose du même coup la question de la responsabilité des savants. Ici, les autorités avaient décidé d'écouter les scientifiques les plus alarmistes.

Qui faut-il croire? À qui se fier? Qui par la suite est responsable de la mauvaise décision?

Les scientifiques s'entendent pour dire que la Californie sera le théâtre d'un séisme dont l'ampleur fera des ravages sans précédent *sur une bonne partie de son territoire. Que penser du fait que les sismologues nous disent que même s'ils pouvaient prévoir 24 heures à l'avance ce tremblement de terre*, ils n'avertiraient pas la population parce qu'on pense que la panique et le déplacement de la population qu'une telle annonce pourrait engendrer tueront davantage que la catastrophe?

Il faut comprendre que la panique et le déplacement de la population sont aussi des prévisions; en fait, on choisit entre l'effet de deux prévisions; celui qu'aura la catastrophe et celui qu'auront la panique et le déplacement de la population.

Adaptation
Yvon Fortin

Référence
LÉVY-LEBLOND, J.-M. L'esprit de sel, Paris, Fayard, 1981, pp. 239 à 241.

24 La science moderne et le savoir

Mythe
Les physiciens peuvent expliquer tous les phénomènes physiques de la vie courante.

Anti-mythe
Personne ne peut, aujourd'hui, expliquer tous les phénomènes de la vie courante, non pas parce que les explications n'existent pas (même si c'est souvent le cas), mais parce qu'il est impossible de les connaître toutes. Et c'est vrai pas seulement pour les physiciens.

Objectif
Prendre conscience des limites que le contexte technologique moderne impose au savoir.

Matériel
Texte: «La science moderne» (pp. 117 à 118)

Problématique
La quantité sans cesse croissante de connaissances entraîne ou provoque une multiplication de disciplines de plus en plus spécialisées lesquelles nécessitent une spécialisation des individus. On n'étudie plus en physique générale, mais en physique de l'état solide, en physique atomique ou nucléaire, en optique... Ce qui est vrai en recherche pure ou appliquée l'est davantage en technologie.

Avec les montres digitales au quartz s'est achevé le temps où une personne pouvait prétendre être en mesure de fabriquer une montre de toutes pièces. Les frères Wright ont fabriqué jusqu'au moteur de leur premier avion. Qui aujourd'hui pourrait seulement prétendre comprendre toutes les technologies nécessaires à la fabrication d'un 747?

Ce contexte fait que même la formation générale est souvent déjà très spécialisée. On ne peut pas tout enseigner; il faut faire des choix. On préférera parfois la physique moderne à la thermodynamique, l'hydrostatique à la dynamique de rotation; certains feront de la physique expérimentale, d'autres pas...

On ne doit donc pas s'étonner que de plus en plus de scientifiques ne possèdent de certains phénomènes naturels qu'une connaissance à peine plus poussée que ceux qui n'ont jamais fait d'études en sciences.

Déroulement de l'activité
Demander aux élèves de mettre sur papier de deux à cinq questions qu'ils jugent pertinentes et qui portent sur des phénomènes que la physique peut expliquer.

Par la suite, classer avec les élèves les questions rattachées aux phénomènes de la vie courante et les questions qui touchent les domaines spécialisés de la physique contemporaine.
Leur demander de déterminer:

- quelle catégorie ils jugent la plus importante;
- quelles questions ils ou elles jugent les plus importantes;
- quels sont les critères de ces choix.

Faire lire le texte «La science moderne» (pp. 117 à 118), puis reprendre la discussion sur les questions que les élèves avaient formulées mais cette fois, en tenant compte des renseignements supplémentaires fournis par le texte.

Discussion

- Quel est le travail d'un physicien ou d'une physicienne?
- Quel type de formation doit-on leur donner?
- Quel type de savoir doit-on attendre d'eux?
- Le désir de connaître est-il l'élément le plus important lors du choix de carrière des scientifiques? A-t-il été un élément important lorsque vous avez fait votre choix de programme?
- Qu'est-ce qui vous motive à faire des études en science?
- Quels avantages y a-t-il à avoir une formation scientifique? Quels en sont les inconvénients?
- Qu'est-ce qui peut motiver quelqu'un à vouloir devenir scientifique?

Notes/commentaires

Mettre en évidence la multiplicité des réponses et des arguments.

Aux questions de choix de programmes ou de carrières, il y a souvent des clichés qui ressortent, mais on entend aussi des élèves avouer ne pas savoir pourquoi ils ont choisi les sciences. Faites remarquer le fait que si certains d'entre eux ignorent pourquoi ils ont choisi les sciences, comme eux, plusieurs scientifiques ignorent pourquoi ils font de la science, ce qui ne veut pas dire qu'ils ne savent pas ce qu'ils font.

Si certains élèves croient que c'est un secteur où les débouchés sont nombreux et qu'ils pourront ainsi assurer leur subsistance, comme eux, plusieurs scientifiques font de la science non pas pour le bien-être de l'humanité ou pour l'avancement des connaissances, mais pour pouvoir se loger et se nourrir comme tout le monde.

Le scientifique à l'emploi d'un gouvernement, d'une industrie ou de l'armée qui prétend qu'il travaille pour faire avancer les connaissances est-il plus convaincant que l'ouvrier d'une chaîne de montage d'automobiles disant qu'il travaille pour libérer l'homme des contraintes de la vie courante? Peut-être, mais où est la différence?

Poutant, leur contribution est quand même devenue indispensable à la société occidentale moderne telle que nous la connaissons.

Aujourd'hui, on fait grand état de la science de pointe: développement de super-lasers, vols spatiaux aux confins du système solaire, super-ordinateurs... Quotidiennement, on nous fait voir des scientifiques nous expliquant la structure des atomes, les rayons lasers, l'évolution de l'univers, les supers conducteurs, les centrales nucléaires. On en arrive donc à croire que si les scientifiques peuvent fournir des explications aussi complexes à propos de phénomènes qui sont le plus souvent totalement dénués d'intérêt pour monsieur Tout-le-Monde, c'est sûrement que les phénomènes de la vie courante n'ont plus aucun secret pour eux.

Ainsi, on s'attend à ce que n'importe quel scientifique puisse nous expliquer aisément pourquoi le ciel est bleu le jour, rouge le soir et noir la nuit; pourquoi les arcs-en-ciel sont ronds, pourquoi l'eau du bain tourne toujours dans le même sens quand on le vide; pourquoi il n'y a que trois couleurs primaires et pourquoi celles-là et pas les autres. De plus, compte tenu de l'appareillage extrêmement complexe qu'ils manipulent quotidiennement (oscilloscopes, accélérateurs de particules, lasers et quoi encore), le fonctionnement du circuit électrique d'une automobile ou d'une maison ou d'une cuisinière doit leur paraître un jeu d'enfants.

Or il est de plus en plus fréquent de rencontrer des physiciens et des physiciennes qui, bien que parfaitement en mesure de nous expliquer avec rigueur et détails comment se forment les trous noirs ou comment l'espace se contracte lorsqu'on se déplace à la vitesse de la lumière, sont incapables de nous expliquer, avec la même aisance et la même apparente simplicité, des phénomènes plus terre à terre.

Tout cela est bien normal, puisque la physicienne et le physicien d'aujourd'hui s'occupent d'une physique qui n'a plus grand-chose à voir avec les phénomènes naturels de la vie courante. Bien que tout le monde s'entende pour dire que la culture scientifique générale est indispensable à tout scientifique, la place et l'importance qu'on lui accorde dans les programmes de formation tant collégiale qu'universitaire sont négligeables. Ce que veut la société (l'industrie, le gouvernement, l'armée, le public), ce sont d'abord des scientifiques capables de faire fonctionner le réseau hydro-électrique et de produire des appareils à rayons X efficaces et peu dommageables, des fibres optiques et des lasers pour la médecine et les télécommunications, des isolants efficaces, des moteurs puissants et non polluants, des Boeing 747 et des F-18...

Or la science ou plutôt la technologie nécessaire à l'assouvissement de tous ces désirs (certains auraient dit besoins) se passe facilement de culture générale. La science moderne est davantage orientée vers les technologies rentables que vers la connaissance pure. Les chercheurs d'aujourd'hui ne peuvent plus se permettre de ne pas trouver. La forte concurrence entre les différents groupes de recherche les oblige à produire. Le critère du nombre de publications d'un individu et nombre de citations de ses travaux par les autres (et par lui-même) constitue un des moyens d'évaluer cette productivité, ce qui entraîne souvent la publication de travaux plus ou moins valables dont le seul intérêt est de hausser la cote de productivité de l'auteur.

Les subventions, indispensables au maintien des équipes de recherche et au fonctionnement de leurs laboratoires, sont accordées davantage pour la recherche appliquée que pour la recherche fondamentale; il se fait donc plus de recherche appliquée que fondamentale. Les budgets pour la recherche militaire sont plus imposants que ceux de la médecine; il se fait donc plus de recherche militaire que médicale. La recherche est une industrie comme toutes les autres. On y fait du marketing, du recrutement et de la publicité; les chercheurs, les chercheuses et les institutions ont leurs gérants comme les artistes et les professionnels du sport. On doit même dire que c'est normal de nos jours. Est-ce souhaitable?

Fini le temps de la recherche indépendante et solitaire: a-t-il d'ailleurs déjà existé? Archimède était au service du roi de Syracuse; Léonard de Vinci, au service de Ludovic le More, de César Borgia, du roi de France ou de Julien de Médicis à titre d'architecte ou d'ingénieur militaire; quant à Galilée, il œuvrait sous les bons auspices de la noblesse de Venise et de Florence... Mais en ce temps-là, la science était artisanale et presque artistique; aujourd'hui, elle est industrielle. On a à peine le temps d'énoncer une théorie qu'il faut la modifier sans prendre le temps de la soumettre à l'examen. On ne réussit même plus à les répertorier, tellement elles apparaissent et disparaissent rapidement. Elles ne subissent plus l'épreuve du temps et on n'en retire plus la connaissance durable de leur pertinence ou de leur incompatibilité avec la

structure théorique globale dans laquelle elles devraient s'insérer. Les disciplines sont de plus en plus hermétiques parce que surspécialisées.

Il y a un écart important entre les grands objectifs (théoriques) de formation dont on se réclame et la formation réelle qui se dispense. La déception qu'éprouve parfois le public face à la science et aux scientifiques y trouverait-elle une partie de son explication? Est-il normal que les gens ordinaires reconnaissent de moins en moins les scientifiques comme étant ceux qui peuvent expliquer la nature (ordinaire)? Faut-il y voir la cause de l'essor nouveau de l'ésotérisme sous toutes ses formes?

La réponse à ces questions n'est pas simple, mais le problème existe.

Adaptation
Marc Chabot et Yvon Fortin

Référence
LÉVY-LEBLOND, J.-M. L'esprit de sel, Paris, Fayard, 1981, pp. 56 à 62.

25 La science, une religion

Mythe
Ce qu'il y a de beau avec la science, c'est qu'au moins ça explique. Finis les mystères et les actes de foi. Maintenant, quand on parle de quelque chose, c'est qu'on comprend...

Anti-mythe
Pour la majorité des individus, et même pour plusieurs scientifiques, le pouvoir explicatif de la science est un leurre, car à l'intérieur même de la science, il y aurait tout autant de mystères que dans les explications théologiques du début de l'Univers.

Objectifs
Développer l'esprit critique.

Prendre conscience qu'en science, on fait souvent certains actes de foi et qu'à cet égard, les adeptes des sciences se comportent souvent comme les adeptes de certains groupes religieux ou ésotériques.

Matériel
Texte: «Le Big Bang ou le Bing Bang? C'est pareil...» (pp. 121 à 122)

Problématique
On croit souvent qu'une théorie n'est acceptée par les scientifiques que lorsqu'elle explique tous les faits qui la concernent. Si tel est le cas, il est tout à fait convenable d'endosser une théorie scientifique sans comprendre tous les raisonnements qui la sous-tendent puisqu'elle a été acceptée par les scientifiques qui eux la comprennent et savent ce qu'elle explique ...

La physique des particules élémentaires et son application en astrophysique ne sont actuellement comprises que par quelques individus seulement. Cependant, la complexité, le détail et la finesse de leurs explications de même que la confiance qu'ils dégagent sont tels qu'on pourrait parfois se passer de leurs explications.

L'individu moyen se dit: «Je ne comprends pas la théorie, mais j'en connais qui peuvent tout de même démontrer que ça marche.» On ne connaît pas, mais on pose «un acte de foi». On intègre les explications et même ce que l'on ne comprend pas dans un réseau de croyances et non dans une théorie de la connaissance. La vulgarisation de certaines théories, celle du Big Bang en particulier, produit et remplace peut-être chez le lecteur ou la lectrice les mêmes fantasmes que le mystère de la création du monde ou le mystère de la Sainte Trinité.

Déroulement de l'activité

Faire lire le texte «Le Big Bang ou le Bing Bang? C'est pareil...» Animer une discussion en classe à partir des questions soulevées dans le texte.

Discussion

- Qu'est-ce qui motive les scientifiques à travailler sur une théorie expliquant l'évolution de l'Univers?
- Les rêves et les fantasmes qui poussent le public à acheter les livres de vulgarisation publiés à ce sujet font-ils partie des motivations de ces scientifiques?
- Ces rêves et ces fantasmes sont-ils évoqués par les scientifiques dans leurs travaux de vulgarisation? Si oui, pourquoi? Si non, pourquoi?
- N'y aurait-il pas, pour un certain nombre de scientifiques, de vulgarisateurs et de vulgarisatrices, en plus du désir d'expliquer le monde qui nous entoure, un quelconque désir (avoué ou non) de pouvoir, de prestige, d'être un nouveau gourou de la connaissance?
- Tous ces rêves et ces fantasmes, ces désirs de pouvoir et de prestige sont bien humains, mais font-ils partie de l'image que nous avons généralement des scientifiques ou de l'image qu'ils ont d'eux-mêmes?

LE BIG BANG OU LE BING BANG? C'EST PAREIL...

Imaginez que vous vous promenez sur la rue et que vous rencontrez une personne qui vous demande la permission de vous regarder attentivement pendant tout au plus trois secondes. Le temps écoulé, cette personne vous raconte alors tout ce que vous avez été et tout ce qui vous est arrivé depuis votre naissance, ajoutant même dans quelles circonstances vous avez été conçu. Stupeur? Étonnement? Incrédulité?

Le pire, c'est que la description est correcte. L'individu a vraiment réussi à dire ce qui était arrivé, les affirmations sont vérifiables, ce qui est dit origine des faits. Pour lui, vous n'avez pas de mystères...c'est-à-dire qu'on ne peut pas discerner dans son discours un simple travail de l'imagination, un coup de chance ou même un truc. Il sait, un point c'est tout.

Invraisemblable, n'est-ce pas? Pourtant...

Nous avons de fortes raisons de croire que la Terre existe depuis 4,5 milliards d'années environ. La vie y serait apparue il y a environ 400 millions d'années et l'humain, depuis seulement 3,5 millions d'années, selon les estimations les plus optimistes. Comparons ces données en les ramenant sur une échelle d'une année: si la Terre avait commencé d'exister le premier de l'An, l'Homme n'y serait apparu qu'au cours des quelques dernières secondes du 31 décembre de la même année.

C'est donc dire que durant les quelques dernières fractions de seconde de cette brève existence, les scientifiques ont réussi à élaborer des théories dont l'une d'elles, le Big Bang, «explique» non seulement l'origine de la Terre mais celle de l'Univers, origine qui serait survenue il y a environ 15 milliards d'années. Ce tour de force est probablement encore plus prodigieux que notre premier exemple.

Mais qu'en est-il au juste de cette célèbre et parfois controversée théorie du Big Bang? Une telle théorie, si elle est valide, ne peut faire autrement que susciter l'intérêt non seulement des scientifiques mais aussi de la population en général.

En fait, lorsque nous parlons de la théorie du Big Bang, il nous faut envisager deux niveaux d'explications bien différents. Le premier (disons le vrai) ne peut être compris que par une poignée de spécialistes en astrophysique et en théorie des particules élémentaires. Le second (très fréquemment fantasmatique) qui relève de la vulgarisation scientifique et qui, compte tenu de la complexité inhérente au sujet, ne peut être efficace qu'au détriment de la rigueur et de la précision.

Le prestige que cette théorie (même vulgarisée) rejaillisse sur l'ensemble de l'activité scientifique et sa grande qualité pédagogique en ont fait le sujet principal des plus grands best-sellers des vulgarisations scientifiques des dernières années.

La théorie du Big Bang prévoyait l'existence d'une radiation fossile (3°K), vestige du feu initial. La stupéfiante découverte de cette radiation valut d'ailleurs à Penzias et Wilson le prix Nobel de physique en 1979.

Aurions-nous enfin une théorie scientifique qui explique véritablement l'origine du monde? Pourrions-nous enfin prendre définitivement nos distances par rapport aux explications traditionnelles de la Bible et des religions? Serions-nous maintenant affranchis du mythe et tout près de «la vérité»?

Pour les scientifiques (premier niveau d'explication), il ne s'agit que de l'application de la théorie des particules élémentaires au domaine de l'astrophysique. La théorie du Big Bang qui en résulte est tout aussi fertile en explications qu'en questions sans réponses. Mais, dans l'ensemble, son pouvoir explicatif la rend suffisamment séduisante pour qu'on la retienne (pour le moment).

Pour le public en général, la théorie du Big Bang, même si personne ne peut en saisir la portée et en fournir une explication même minimale, constitue une nouvelle victoire de la Science sur l'inexplicable. À partir de maintenant, on aura le choix d'invoquer «le Big Bang» ou le mythe de la Création en sept jours.

Pour les partisans de la théorie de la Création en sept jours, il est nécessaire d'avoir la foi et d'accepter l'idée qu'il y a des mystères qui nous sont révélés mais qu'on ne peut pas comprendre.

Pour les partisans du Big Bang, il se pourrait bien que des termes techniques comme neutrinos, anti-matière, espace et temps aient le même caractère que les mystères de la Bible, en ce sens qu'ils leur sont révélés mais qu'ils

ne les comprennent pas. À ce titre, la théorie elle-même ne fait que remplacer l'équivalent biblique par une version moderne et scientifique mais, pour eux, tout aussi incompréhensible.

Malgré tout ses succès, le Big Bang ne réussit pas à empêcher la question de l'avant, du comment, du pourquoi ou du qui. En posant le problème du commencement, on ne dit pas que la création de l'Univers a eu lieu dans le temps, mais que c'est le temps qui commence avec elle; on ne parle plus de l'endroit où cette création aurait pu se faire, puisque c'est l'espace même qui se dilate. La théorie a au moins le mérite d'entretenir les rêves et les fantasmes qui caractérisent l'humanité depuis le début des temps.

Retour du mythe par la porte «d'en haut»?

Adaptation
Marc Chabot et Yvon Fortin

Référence
LÉVY-LEBLOND, J.-M. L'esprit de sel, Paris, Fayard, 1981, pp. 83 à 84.

26 Fabrication d'une figure mythique

Mythe
Le génie et la stature morale d'un savant tel Einstein suffisent à expliquer sa renommée.

Anti-mythe
Le contexte socio-politique contribue à la réputation du savant.

Objectif
Prendre conscience qu'en science comme parmi les artistes ou parmi le monde sportif, des individus peuvent parfois acquérir une renommée qui ne s'explique pas toujours uniquement par la qualité de leur contribution dans leur champ d'activité.

Matériel
Texte: «L'arbre et la forêt: le mythe Einstein» (p. 124)

Déroulement de l'activité:
Faire lire le texte «L'arbre et la forêt: le mythe Einstein». Animer une discussion en classe sur le thème de l'importance passée et actuelle du contexte socio-politique comme élément de première importance dans le développement de la science.

Discussion

- Qu'est-ce qui a poussé les Américains à se lancer avec frénésie à la conquête de la Lune? Était-ce l'avancement des connaissances ou l'avance que semblaient prendre les Soviétiques dans de domaine spatial?

- Pourquoi la recherche militaire dispose-t-elle de budgets si considérables par rapport à la recherche en astrophysique, en médecine, en environnement...?

L'ARBRE ET LA FORÊT: LE MYTHE EINSTEIN

Tout le monde connaît Albert Einstein, du moins de réputation. Plusieurs savent qu'il est le père de la relativité. Plusieurs ignorent qu'il a reçu un prix Nobel, non pas pour ses travaux sur la relativité restreinte mais pour un travail, dont le compte rendu fut d'ailleurs très bref (à peine deux pages), sur l'effet photoélectrique.

A) Il y a des raisons diplomatiques à la popularité d'Einstein

Au sortir de la Première Guerre mondiale, les relations sont tendues entre les pays européens qui se sont affrontés. L'Allemagne, en particulier, est isolée et souhaite renouer avec ses voisins. Les cercles scientifiques, qui sont censés être à l'abri des querelles nationales, semblent un milieu particulièrement indiqué pour tenter un rapprochement. Pourtant, même là les animosités demeurent fortes. Certains scientifiques anglais, puis français, s'opposent à ce qu'Einstein fasse une visite à Londres, puis à Paris. C'est seulement parce qu'il vient de réaliser des travaux importants et qu'il jouit d'un prestige certain que les résistances s'amoindrissent. En 1921, au cours d'un voyage qui le mène en Europe, aux États-Unis et en Asie, il est reçu par les plus hautes autorités. Pourtant, il ne s'illusionne pas sur le rôle d'ambassadeur qu'on lui fait jouer. À ce moment, en Allemagne, on le considère comme un savant allemand, comme un atout pour le pays ; en Angleterre, on le voit comme un juif suisse (il a la nationalité suisse, ce qui permet aux Anglais d'oublier qu'il est issu de la nation qui a été récemment leur ennemi). Mais il sait bien que les circonstances peuvent changer et faire de lui un indésirable, c'est-à-dire un juif suisse en Allemagne et un savant allemand en Angleterre.

B) La popularité d'Einstein tient dans une certaine mesure à la mode, à l'état d'esprit de son époque

Après la guerre, on a un grand appétit pour les idées neuves, pour ce qui est étrange, provocateur, par exemple le dadaïsme, ou encore le léninisme, le freudisme, les expériences industrielles d' Henry Ford. Autant les années 1914-1918 ont été une période de désarroi, au-tant l'après-guerre semble autoriser tous les espoirs, promettre tous les renouveaux. À l'époque, d'autres scientifiques conçoivent des théories plus radicalement nouvelles que celles d'Einstein et pourtant, elles passent à peu près inaperçues en dehors des milieux cultivés. Pourquoi ?

Les théories relativistes d'Einstein ont un caractère choquant qui attire l'attention —d'autant plus que les vulgarisateurs en font ressortir surtout les côtés bizarres. Même si, en fait, les théories de Galilée et de Newton, par exemple, montraient déjà qu'en science, on ne peut pas se fier à l'intuition courante, celles d'Einstein frappent davantage parce qu'elles bouleversent les supposées évidences naturelles sur ce qui forme le tissu de la vie quotidienne : l'espace et le temps. C'est leur caractère abstrait, non empirique, qui impressionne, au point que des philosophes sérieux (Bergson en particulier) y verront plus de nouveautés qu'elles n'en ont en réalité et ils leur adresseront des critiques qui auraient pu être faites à celles de Galilée ou de Newton. Le fait que ces théories aient servi à appuyer le relativisme philosophique («tout est relatif, comme dit Einstein») montre aussi combien elles ont été mal comprises, ce qui a contribué à faire durer le mythe qui entoure Einstein.

C) La personnalité même d'Einstein a alimenté le mythe et a contribué à masquer ce que devenaient la science et les scientifiques

À cause de son non-conformisme, de son pacifisme, de son intégrité, Einstein a acquis encore plus de prestige et en est venu à être entouré d'une aura. Comme il était au premier plan, on a cru que le scientifique et la science continuaient d'être ce que l'on voyait en lui. On a cru que le scientifique était un savant solitaire, et la science, une activité indépendante des pouvoirs. On n'a pas vu que, dans la première moitié du siècle, la science, la physique en particulier, passait du stade artisanal au stade industriel (donc, au stade de la recherche en équipe), qu'elle se hiérarchisait et devenait de plus en plus soumise aux pouvoirs politique, économique et militaire. En somme, la figure d'Einstein a fait écran devant la réalité.

Après Hiroshima, ceux qui considéraient la science comme un bien absolu l'ont vue comme le mal total, et certains ont vu, dans le pacifiste Einstein, le père de la bombe. Une vision simpliste a été remplacée par une vision contraire, tout aussi simpliste. Et on a jugé la science, tout comme Einstein, sur un plan purement éthique, sans tenir compte de l'ensemble du processus socio-politique dans lequel ils s'inscrivaient.

Résumé de: LÉVY-LEBLOND, J.-M. L'esprit de sel. Paris, Fayard, 1981, pp. 162 à 165.

27 La science est...

Mythe
La science est neutre et objective, elle est la source du progrès technique et industriel, social et humain, intellectuel et moral.

Anti-mythe
Les qualificatifs que l'on attribue à la science reflètent davantage les intérêts de ceux qui les lui attribuent que le caractère véritable des activités qui la définissent.

Objectif
Prendre conscience du caractère humain de l'activité scientifique et la débarrasser de tous ces clichés qui tendent à l'idéaliser.

Matériel
Texte: «Idées reçues» (pp. 126 à 129)

Déroulement de l'activité
Demander aux étudiants de donner des exemples qui confirment les mythes énoncés et de donner des objections à ces mythes.

En faire la liste au tableau.

Faire lire le texte: «Idées reçues» (pp. 126 à 129).

Discuter à partir des exemples et des objections fournis par les élèves en faisant valoir surtout les arguments qui apparaissent dans la conclusion du texte.

Notes/commentaires
Compte tenu du nombre de thèmes abordés dans le texte, vous pouvez, selon votre bon jugement, choisir de tenir une discussion sur l'ensemble des sujets, sur un seul des sujets que vous jugez particulièrement intéressant, ou encore vous pouvez les discuter un à un à des moments différents.

IDÉES REÇUES

On dit souvent —et on croit— que la science est neutre, objective et méthodique et qu'elle est la source du progrès technique et industriel, du progrès social et humain, du progrès intellectuel et moral. Que signifient ces affirmations et quelles objections peut-on leur apporter ?

1. La science est neutre

Les découvertes scientifiques ne sont pas bonnes ou mauvaises en soi. C'est l'utilisation qu'on en fait qui est bénéfique ou néfaste. On ne peut donc pas reprocher à un chercheur ou à une chercheuse d'avoir fait telle découverte. Ce sont les pouvoirs politiques, ou la société dans son ensemble, qui portent la responsabilité morale des applications.

Mais...

a) Les scientifiques ne refusent pas les éloges ni les honneurs lorsque leurs travaux débouchent sur des applications moralement ou socialement bonnes (vaccins, production d'énergie, fabrication d'engrais).

b) Particulièrement à notre époque, où la recherche nécessite d'énormes investissements matériels et humains, le choix des priorités a un effet déterminant sur les applications. Ces choix peuvent être dictés par des considérations militaires; par exemple, si la physique nucléaire a pu faire un tel progrès depuis quelques décennies, c'est parce qu'elle a prouvé son «efficacité» en permettant la fabrication de la bombe H. Cette efficacité était suffisante pour justifier un support inconditionnel à la recherche en physique nucléaire.

   Les considérations économiques entrent aussi, et beaucoup, en ligne de compte. C'est ainsi que les compagnies de produits pharmaceutiques orientent les recherches en fonction des profits qu'elles espèrent en tirer. De même, grâce à leur puissance, les sociétés pétrolières ont réussi jusqu'à maintenant à ralentir la recherche sur les énergies nouvelles (soleil, mer, vent).

c) Les scientifiques ne sont pas isolés du reste de la société et ils ne sont pas animés seulement par le souci de faire avancer la connaissance. Bien sûr, comme la plupart d'entre eux travaillent dans de grosses organisations, leur liberté de choix et leurs responsabilités directes sont minimes. Mais justement, ceux qui déterminent les priorités de recherche, parce qu'ils savent pouvoir compter sur le silence des chercheurs, peuvent prendre des décisions à peu près impunément.

d) Nous pourrions dire que la science est neutre seulement si les risques d'applications néfastes et les espoirs d'applications bénéfiques étaient égaux. Mais ce n'est pas le cas. À cause de la façon dont la société fonctionne, les travaux qui peuvent servir à des fins militaires ou qui peuvent rapporter un profit à des groupes puissants ont beaucoup plus de chances d'être entrepris. Et cela va plus loin : les structures sociales déterminent la forme que prennent les applications scientifiques. Ainsi, un État centralisé privilégie la production centralisée d'énergie au détriment de méthodes dont l'administration pourrait relever des communautés locales. (Exercice possible : Hydro-Québec versus petites centrales fonctionnant à l'énergie éolienne ou autres, selon le potentiel des régions.)

2. La science est objective

La science trouve des vérités absolues, qui n'ont rien à voir avec les circonstances de leur découverte et qui sont valides en dehors de tout critère historique, de tout jugement de valeur. Les scientifiques sont des individus qui travaillent sans préjugés, sans préférences, sans passions ; c'est comme si, avant d'entrer dans leur laboratoire, ils laissaient leur personnalité à la porte.

Mais...

a) Pour faire de la recherche scientifique, il faut se servir de son imagination, de sa créativité. Les "savants" ne peuvent pas faire abstraction du contexte culturel, politique, philosophique et esthétique dans lequel ils vivent, ni de leurs préjugés. D'ailleurs, ces préjugés ne sont pas nécessairement mauvais; ils peuvent donner des idées. Par exemple, Maupertuis, au XVIII^{e} siècle, a trouvé le «principe de moindre action» de la mécanique en s'appuyant sur des arguments théologiques sur le sens de l'économie attribué à Dieu.

b) Que l'on soit spécialiste ou profane, on ne s'intéresse pas à la science uniquement pour arriver à un savoir objectif dans lequel on pourrait s'installer confortablement. Il existe une passion de comprendre. Les sciences touchent aux grandes interrogations de l'être humain : la cosmologie s'intéresse à l'origine de l'univers; l'anthropologie, à l'origine de l'homme, etc. En ce sens, leurs préoccupations sont semblables à celles de la métaphysique ou de la mystique. Plus de la moitié des travaux de Newton ont porté sur la théologie et l'alchimie.

c) Admettons que la démarche individuelle des scientifiques n'est pas seulement objective. Mais sa découverte, une fois qu'elle est reconnue, ne l'est-elle pas ? Pour répondre oui, il faudrait oublier tous les moments où on a compris que ce qu'on prenait jusque-là pour une vérité avait été admis à cause de préjugés. Cette «vérité» était donc le résultat d'un point de vue particulier ou elle reflétait un point de vue collectif. D'ailleurs, une découverte n'est pas nécessairement le remplacement d'une erreur par une nouvelle vérité; elle peut représenter ce qu'on pourrait appeler un «élargissement de la vision». C'est le cas, par exemple, du système de Copernic: l'héliocentrisme n'a pas réduit à néant la validité du géocentrisme; dans une certaine mesure, il l'englobe.

d) La science ne peut pas prétendre à l'objectivité parce qu'elle est avant tout un projet social. Au sens strict, elle n'existe que dans les sociétés occidentales modernes. Elle est née parce que les Occidentaux se considèrent comme des sujets devant une nature qui, elle, leur apparaît comme un objet. Et cet objet, nous, Occidentaux, ne voulons pas seulement le connaître; nous voulons nous l'approprier, devenir maîtres de la nature.

3. La science est méthodique

Il existe une méthode scientifique, une recette, qui permet d'avancer systématiquement dans la connaissance et de parvenir à la vérité. Grâce à cette méthode, les savants parviennent à des résultats qui sont beaucoup plus sûrs et rigoureux que ce à quoi on peut arriver dans d'autres domaines de l'activité intellectuelle. Cette méthode est la suivante : mettre les faits en évidence de manière ordonnée, formuler des hypothèses théoriques, déduire les conséquences observables, vérifier ces conséquences par l'expérimentation (ce qui permet de valider ou de rejeter les hypothèses).
Mais...

a) La plupart des épistémologues admettent maintenant qu'il n'existe pas de faits bruts. Les théories admises conditionnent la façon dont sont conduites les expériences et elles conditionnent aussi les résultats attendus. Consciemment ou non, le chercheur ou la chercheuse fait des choix : les phénomènes réels sont trop complexes pour les étudier entièrement; alors, on n'en retient que les éléments qui semblent significatifs (on peut aussi demeurer aveugle à d'autres éléments). Par exemple, les chroniques chinoises du Moyen Age décrivent les novae (explosions qui augmentent considérablement la visibilité d'étoiles banales) avec beaucoup de précision, mais les documents européens de la même époque n'en parlent pas, bien que les novae soient un phénomène assez courant. Cela s'explique par le fait que les Européens croyaient que le monde céleste était parfait, non soumis au changement; alors, ils devaient prendre les novae pour de fugitifs météores locaux.

b) Le plus souvent, la personne qui s'adonne à la recherche émet une hypothèse avant de se livrer à l'observation. En plus, il n'y a pas de méthode pour formuler une hypothèse. C'est là que l'imagination et la créativité interviennent. Les rapprochements entre des idées bizarres et les analogies qui ne semblent pas fondées peuvent être féconds. Tout peut servir.

c) La vérification, parce qu'elle est nécessairement partielle, ne permet pas de déterminer de manière absolue si une hypothèse est valide ou non. Logiquement, je ne peux pas dire que le soleil se lèvera demain parce qu'on l'a vu se lever tous les matins jusqu'à aujourd'hui. C'est ce qui a amené Popper à dire : on ne peut pas vérifier si une théorie est juste, mais au moins, on pourra conclure, si on arrive à la réfuter, qu'elle est fausse. Cependant, cette méthode ne rend pas mieux compte de la science telle qu'elle se fait. À la limite, toute théorie est *réfutée* par certains résultats. Il appartient à l'expérimentateur de savoir s'il doit écarter ces résultats ou en tenir compte. En plus, pour dire si une vérification ou une réfutation sont concluantes, il faut s'appuyer (même sans s'en rendre compte) sur d'autres hypothèses théoriques. Par exemple, si on trouve des fossiles dans une montagne, on peut conclure que le niveau des mers a varié de telle ou telle façon

seulement si on admet la théorie de l'évolution. Un créationniste pourrait aussi bien dire que les fossiles ont été créés en même temps que la montagne et que le reste du monde.

4. La science, c'est le progrès technique et industriel

Toutes les grandes découvertes scientifiques débouchent sur des applications techniques et, inversement, toutes les innovations techniques proviennent de recherches scientifiques. Donc, même si des recherches ne semblent pas avoir d'applications immédiates, elles finiront sûrement par en avoir; et cela justifie qu'on les poursuive.

Mais...

a) L'humanité perfectionne ses techniques depuis des millénaires et, pendant la plus grande partie de ce temps, cela s'est fait indépendamment des scientifiques. Même au XIX^{e} siècle, c'est la machine à vapeur qui a fait progresser la théorie de la chaleur et la thermodynamique, et non l'inverse. En disant que le progrès technique ne peut pas se passer de la recherche scientifique, nous montrons qu'à nos yeux, les travaux manuels sont inférieurs aux activités intellectuelles, qu'ils sont à leur remorque. On remarque d'ailleurs que la philosophie et l'histoire des techniques ne sont pas aussi développées que la philosophie et l'histoire des sciences.

b) Il est vrai que les liens entre la science et la technique se sont resserrés dans la seconde moitié du XIX^{e} et au début du XX^{e} siècle. Ainsi, c'est grâce aux énormes progrès de la recherche en électricité et en électromagnétisme qu'on a pu inventer le téléphone ou la radio. Pourtant, même à cette époque, ceux et celles qui travaillaient dans la production industrielle devaient adapter, en les modifiant considérablement, les méthodes de laboratoire. En plus, beaucoup d'inventions (l'ampoule électrique d'Edison ou le téléphone de Bell) ont été faites par des artisans qui ne connaissaient pas les théories scientifiques fondamentales.

c) Aujourd'hui, on imagine mal des techniques qui ne découleraient pas de la recherche scientifique, mais celle-ci est d'une telle ampleur que beaucoup de découvertes sont mises de côté et ne trouvent pas d'applications. La plupart des disciplines de pointe sont plus consommatrices que productrices de techniques. Parfois, pour faire avancer la recherche dans ces domaines, on met au point de nouvelles techniques, mais rien ne prouve qu'elles n'auraient pas vu le jour de toute façon. Enfin, contrairement à une idée courante, il y a beaucoup de problèmes techniques qui pourraient être résolus sans recherche fondamentale. Nous avons assez de connaissances scientifiques pour développer les énergies nouvelles ou pour mettre au point de nouveaux moyens de transport.

5. La science, c'est le progrès social et humain

Grâce à ses applications, la science soulage la misère humaine. L'automatisation nous a libérés de beaucoup de tâches pénibles; la médecine allonge l'espérance de vie et supprime la souffrance et la maladie; la biologie permet de lutter contre la faim dans le monde. La principale motivation des chercheurs est d'ailleurs le souci du bien-être de l'humanité.

Mais...

a) La guerre est l'un des principaux moteurs du développement scientifique. Après avoir perfectionné la lunette, Galilée l'a vendue aux doges de Venise en leur faisant valoir les avantages militaires qu'elle leur donnerait. L'avion, le radar, le nylon et la pénicilline sont le produit de recherches faites à des fins militaires.

b) La science règle des problèmes que, bien souvent, elle a contribué à créer. La biologie permet de lutter contre le cancer, mais cette maladie est le plus souvent causée (ou favorisée) par des produits mis au point grâce à des recherches scientifiques (colorants chimiques par exemple). L'abus de médicaments provoque des maladies au lieu de les guérir. La pollution est le meilleur exemple de ce cercle vicieux. Pour éviter l'accumulation des déchets chimiques ou radioactifs, devons-nous inventer (si c'est possible, ce qui n'est pas sûr) de nouveaux moyens de les traiter ou devons-nous revoir complètement nos techniques et nos objectifs de production ?

c) Encore une fois, ce sont largement des facteurs extérieurs à la science qui détermineront si les applications des découvertes contribueront au progrès social. Au XIX^{e} siècle, l'automatisation a accru la misère des classes laborieuses en mettant beaucoup d'ouvriers au chômage et en imposant aux autres des conditions de travail inhumaines. Si, mainte-

nant, les machines présentent des côtés positifs pour les ouvriers, c'est parce que ceux-ci ont lutté pour que les choses s'améliorent. Aujourd'hui, la miniaturisation enrichit essentiellement les patrons des industries, et les citoyens sont inondés d'objets inutiles (montres à quartz, calculatrices de poche) qui sont fabriqués en Orient pour des salaires dérisoires.

6. La science, c'est le progrès intellectuel et moral

Parce qu'elle offre un modèle de savoir, la science contribue au progrès de l'humanité. Dans quelque domaine que ce soit, il faut imiter sa méthode pour parvenir à des résultats fiables. En outre, parce qu'ils aiment la vérité, se dévouent au bien-être du grand nombre et agissent de façon désintéressée, les savants sont parmi les plus nobles exemples moraux que l'on puisse suivre.

Mais...

a) La science est une forme de savoir parmi d'autres. En dehors du laboratoire, elle n'est guère applicable. Même s'il connaît la mécanique et l'électricité, le physicien ne peut pas réparer son automobile. La plupart des problèmes de la vie courante sont trop complexes et trop généraux pour qu'on les examine et les règle avec l'analyse scientifique.

b) Le scientifique a raison d'avoir confiance en ses découvertes parce qu'il a des moyens efficaces de contrôle, mais cela le porte à sous-estimer la difficulté des problèmes généraux. Trop souvent, il se pose en expert sur des questions qui débordent sa spécialité (le physicien nucléaire, par exemple, n'est pas en mesure d'évaluer la sécurité et la rentabilité des centrales d'énergie). On le consulte comme s'il était un sage, et il cautionne, devant la population, les décisions des pouvoirs politiques. «L'expertise scientifique utilisée pour camoufler les responsabilités politiques ou économiques est l'une des conséquences les plus néfastes de la mythification de la science.»

c) À l'école, on enseigne la physique et les mathématiques parce qu'elles sont censées apprendre à raisonner avec rigueur. Mais trop souvent, on en montre seulement les aspects les plus dogmatiques: on énonce les résultats sans expliquer dans quel contexte ils sont apparus et sans montrer leurs liens avec les problèmes actuels. La science est censée offrir le modèle idéal de ce qui est rationnel et compréhensible, et pourtant, on en fait un dogme, un ensemble de formules ou de lois qu'il faut accepter sans discuter. Elle devient une arme qui sert à intimider les élèves et à sélectionner les plus aptes.

d) Il y a eu et il y a encore des scientifiques qui font montre de dévouement et de grandeur morale, surtout dans un contexte où ils défendent la liberté d'esprit contre la tyrannie intellectuelle. Mais l'autoritarisme, l'élitisme et même la tricherie existent dans les milieux scientifiques. On évacue ce fait en gommant les aspects les moins reluisants de la vie des savants. Pasteur aimait à accumuler les honneurs et il menait ses collaborateurs à la baguette. Après l'explosion de la première bombe atomique, Fermi, qui avait largement contribué aux recherches, a répondu à ceux de ses collègues qui exprimaient des inquiétudes morales et politiques : «Oui, mais quelle belle expérience !»

Conclusion

Les objections que l'on vient de lire n'ont pas pour but de remplacer des idées reçues par d'autres qui leur sont totalement opposées. La science n'est pas neutre, mais elle n'est pas coupable. Elle n'est pas objective, mais elle n'est pas tricheuse. Elle n'est pas méthodique, mais elle n'est pas irrationnelle. Elle n'est pas le moteur de toutes les formes de progrès, mais elle n'en est pas le frein.

En fait, la science n'est pas indépendante des autres activités humaines. Comme elles, elle est liée à l'histoire de nos sociétés et elle a des traits détestables et d'autres beaux.

Rejeter la science en bloc au lieu de l'encenser aveuglément risque de conduire à l'obscurantisme; ce ne serait qu'une solution de facilité. Il faut critiquer la science de l'intérieur et non la combattre. Elle est l'un des instruments —et pas le seul— qui nous permet de connaître le monde et de contribuer à le transformer.

Résumé de:
LÉVY-LEBLOND, J.-P. L'esprit de sel, Paris, Fayard, 1981, pp. 199 à 221.

28 Aristote et Galilée en chute libre

Mythe
La physique que l'on enseigne explique et décrit très bien les phénomènes observés.

Anti-mythe
La physique que l'on enseigne n'explique que les phénomènes observés qui se conforment au domaine de validité de ses théories.

Objectif
Comprendre que les théories même les plus fondamentales n'ont de pouvoir explicatif que dans la mesure où on détermine d'abord le cadre restreint où elles peuvent s'appliquer. Sinon, l'observation ne vérifiera pas les prédictions théoriques.

Matériel
Texte: «Galilée et la chute d'Aristote» (p. 132)

Problématique
De façon simplifiée, on attribue à Aristote la théorie voulant que les corps lourds (graves) tombent plus vite que les corps légers à cause de leur plus grand désir de retrouver leur état naturel qui est de se trouver au sol et au repos. On dit même que, toujours selon Aristote, la vitesse des corps augmente au fur et à mesure qu'ils s'approchent du sol parce que, sentant l'imminence du retour à cet état naturel, ce désir ne fait que s'accroître d'où l'augmentation de la vitesse. Ainsi, le poids d'un corps est la manifestation de ce désir.

On attribue à Galilée d'avoir sorti l'humanité de cette vision «ridicule» par l'énoncé d'une théorie qui découle d'une expérience qu'il aurait effectuée du haut de la tour de Pise. Selon Galilée, la théorie d'Aristote est complètement fausse puisque deux objets semblables mais de poids différents arriveront pratiquement en même temps au bas de la tour s'ils sont lâchés en même temps du haut de cette même tour. L'expérience suffit à trancher en faveur de Galilée.

La théorie de la chute libre semble donner raison à Galilée. Mais est-ce que cette conclusion peut vraiment découler de l'observation de l'expérience de la tour de Pise?

Déroulement de l'activité
— Faire lire le texte «Galilée et la chute d'Aristote»
— Procéder à l'expérimentation:
  - Trouvez une structure élevée aux environs de votre institution et amenez-y votre groupe pour faire l'expérience suivante:

- Laissez tomber deux objets de masse et de volume différents tel que le cas décrit par Aristote lorsqu'il parle de deux pierres dont l'une est dix fois plus lourde que l'autre. (boulet et bille d'acier)

- Laissez tomber deux objets de même volume mais de masse différente. Ceci devrait être le cas décrit par Galilée. (boulet d'acier et balle molle)

— Faites remarquer qu'Aristote a vécu aux environs de l'an 300 av. J.-C., que Galilée, lui, a vécu au 17è siècle et que nous sommes au 20e siècle.

— Commentez les résultats à la lumière des informations fournies dans le texte.

GALILÉE ET LA CHUTE D'ARISTOTE

Au 17e siècle, les théories de la masse énoncées par Galilée sont littéralement venues écraser celles qui prévalaient depuis Aristote (330 av. J.-C.). Les pédagogues actuels estiment généralement que Galilée a fait triompher la vérité en contredisant l'assertion d'Aristote voulant que « le mouvement de descente d'un objet soit à une vitesse proportionnelle à son volume ».

À la suite d'expériences Galilée affirmait en effet que tous les objets tombent à la même vitesse dans le vide et sensiblement (à quelques « doigts » près) à la même vitesse dans l'air. Si l'on en croit ce physicien de la Renaissance, l'humanité aurait substitué pendant des siècles l'autorité d'Aristote à ce que chacun aurait simplement pu constater en ouvrant les yeux.

À la défense d'Aristote

Aristote, ses disciples et ses successeurs furent alors lourdement accablés par Galilée qui, dans son «Discours et démonstrations mathématiques concernant deux nouvelles sciences...» (1638), attribuait au philosophe grec la phrase suivante : « Une pierre pesant dix fois plus qu'un autre tombe dix fois plus vite. »

Sceptiques quant à l'attribution d'une telle ineptie à ce philosophe génial, des étudiants ont voulu récemment essayer d'y voir clair. Ils ont reproduit, du haut de leur château d'eau local, l'expérience faite par Galilée de la Tour de Pise. Ils jetèrent donc, d'une auteur de 70 mètres, deux objets de volumes semblables, soit un boulet de 8 kilos et une balle molle.

Deux résultats apparurent : le boulet arriva au sol avec un bon 8 à 10 mètres d'avance sur la balle molle et pendant que celle-ci rebondissait, le boulet s'enfonça d'au moins 45 centimètres dans le sol.

On était loin des quelques « doigts » de différence, annoncés par Galilée pour les objets tombant dans l'air! Il devenait évident que la rapidité de chute des deux objets était liée à leur poids. L'expérience suggéra aussi aux étudiants une autre interprétation des mots utilisés par Aristote dans son énonciation. « Volume » aurait-il été utilisé dans le sens de « poids » ? Un autre texte précis d'Aristote dit en effet de façon explicite que les objets lourds tombent plus vite, alors que ceux qui sont plus légers s'élèvent plus rapidement. Et c'est précisément ce qui ressort de l'expérience des étudiants : le boulet touche la terre bien avant la balle molle et s'y enfonce, alors que la balle, plus légère, rebondit vers le ciel.

Deux langages, deux notions, une réalité

La notion, contestée par Galilée, de la proportion vitesse-poids se retrouve indéniablement dans les textes d'Aristote, mais elle s'appliquerait vraisemblablement à des objets qui tombent dans une matière qui offre une résistance. En ajoutant ce paramètre aux énoncés du philosophe grec, les concepts de celui-ci rejoignent pratiquement ceux de Galilée.

Il me semble aussi, à la lecture consciencieuse des textes d'Aristote, que les mots « poids » et « légèreté » aient été revêtus de significations différentes de celles que leur donne l'usage moderne. En effet, ces notions se mesuraient vraisemblablement par la vitesse de descente et de l'ascension des objets. Ainsi, lorsqu'Aristote dit «qu'un objet augmente son poids en tombant », le lecteur est en droit de se demander ce qu'Aristote veut dire exactement par « poids » et comment interpréter ce mot dans les énoncés de l'auteur.

Il devient alors particulièrement important de faire abstraction des paradigmes actuels et de se rapprocher de l'optique d'Aristote. Pour cela, il faut se rappeler que, chez Aristote, chaque objet possède un mouvement naturel. Ce mouvement est soit descendant, soit ascendant (allant vers le centre de l'univers ou s'en éloignant) selon que la matière prédominante dans l'objet soit la terre, l'eau, l'air ou le feu. Dans les mots du philosophe, les notions de « lourdeur » ou de « légèreté » d'un objet semble très liées à son mouvement naturel.

Un élément clé dans la logique de Galilée laisse clairement entrevoir cette divergence de langage et de concept: c'est la présomption que deux corps attachés ensemble sont plus lourds que l'un et l'autre séparés. Selon sa logique, Aristote aurait vu les choses différemment puisque ces deux pierres attachées tomberaient à la même vitesse que si elles étaient séparées. Ainsi, pour Aristote, deux pierres attachées auraient le même «poids» que chacune d'elle prise individuellement. Cet exemple permet, en extrapolant, d'imaginer d'autres incompréhensions fondamentales.

Les principes d'Aristote s'avèrent donc cohérents dans la mesure où nous essayons de voir le monde dans la perspective du philosophe grec plutôt que dans la nôtre.

Ce texte a été rédigé par Média-Science à partir des ouvrages suivants:

CASPER, Barry M. Galileo and the fall of Aristote: A case of historical injustice?. American Association of Physic Teacher, (s.l.) avril 1877.

MACHAMER, Peter K. Aristote on Natural Place and Natural Motion. ISIS, (s.l.) 1978.

29 Contre la méthode

Mythe
La science est une activité fondée sur la méthode et c'est grâce à la méthode que les scientifiques ont réussi à révolutionner le mode de penser et de produire de l'humanité.

Anti-mythe
S'il est vrai qu'une bonne partie de la production scientifique et surtout technologique procède directement de la méthode scientifique, l'histoire des grandes révolutions scientifiques nous montre que les tenants contemporains du savoir «officiel» ont très souvent qualifié d'anarchistes et d'hérétiques les théories qui constituent aujourd'hui les bases de notre savoir.

Objectif
Montrer que la science est une activité qui nécessite la plus grande ouverture d'esprit.

Matériel
Extraits de l'ouvrage de Paul Feyerabend intitulé Contre la méthode:

- introduction (pp. 135 à 137)
- chapitre14 (pp. 138 à 140)
- chapitre 18 (pp. 141 à 149)

Commentaires
Les ingrédients du succès de la science ne sont pas contenus dans la seule application de la méthode scientique. Il faut, de la part des innovateurs, une imagination débordante, un courage effronté et une certaine propension à la révolution ou à l'anarchie intellectuelle temporaire qui en résulte, pour proposer et soutenir une thèse qui, même si on la croit bonne, ne s'oppose pas moins au savoir admis et enseigné.

C'est pourtant ce qu'ont fait tous ceux et celles que l'on regarde aujourd'hui comme les fondateurs du savoir moderne, qu'ils s'appellent Copernic, Galilée, Newton, Einstein, Heisenberg...

Le livre de Paul Feyerabend dont voici quelques extraits est «un plaidoyer passionné et provocant pour un savoir libertaire, contre tout carcan méthodologique. Il se fonde sur une analyse minutieuse des coups de force qui ont fondé l'évolution de la science. Dévoilant les ruses de l'histoire des sciences, critiquant le dogmatisme caché des épistémologies modernes, Feyerabend renouvelle avec véhémence et humour le débat sur la raison.»

À ceux qui voient dans ces textes une lourdeur et une longeur que les élèves ne sauront supporter, que l'on rappelle qu'il s'agit d'une portion infime du travail qu'a accompli un individu passionné pour la science et ses bâtisseurs. Le détail et la rigueur de la recherche qui a conduit à ses prises de positions nous montre que l'auteur, malgré ses prétentions anarchistes, qu'il qualifie lui-même de dadaïstes, est davantage en mesure de donner une opinion éclairée sur l'évolution des connaissances scientifiques que la plupart de ses détracteurs.

Il est intéressant de constater que le texte prend la forme d'un échange plutôt que d'un monologue prétentieux. L'auteur adresse ses opinions à des individus comme le faisaient la plupart des scientifiques d'une ère révolue où la science se bâtissait par des échanges de points de vue et des argumentations enflammées plutôt que par l'enseignement monolithique d'un corps de connaissances à l'allure immuable et indispensable.

Déroulement

Choisir un des extraits des textes de Feyerabend et , après l'avoir fait lire aux élèves, le discuter en faisant ressortir les points suivants:

- Les chercheurs et les chercheuses appliquent-ils toujours la méthode scientifique?
- La science a-t-elle toujours été le fruit d'une démarche conforme à la méthode scientifique? L'est-elle davantage aujourd'hui?
- Si une théorie nouvelle doit être en accord avec les théories existantes, comment est-il possible que de nouvelles théories éliminent des théories anciennes?
- Quelle formation permettrait le mieux de préparer les élèves à faire progresser la science:
  — une formation basée uniquement sur l'apprentissage des théories acceptées et de ses fondements,
  — ou une formation faisant part également de l'évolution des théories et des débats qui l'ont caractérisée?
- Science et technologie sont-elles synonymes?
- Pourquoi croyez-vous que Feyerabend dit que l'on devrait permettre à l'élève d'étudier autant la science que la magie comme discipline scolaire? (chap. 18, pp. 141 à 149).

« L'ordre est aujourd'hui le plus souvent, là-bas où il n'y a rien. Il brille par son absence. »
Brecht

La science est une entreprise essentiellement anarchiste : l'anarchisme théorique est davantage humanitaire et plus propre à encourager le progrès que les doctrines fondées sur la loi ou l'ordre.

Le présent essai est écrit avec la conviction que *l'anarchisme*, tout en n'étant peut-être pas la philosophie *politique* la plus attrayante, est certainement un excellent remède pour *l'épistémologie* et pour la *philosophie des sciences*.

L'histoire est pleine «d'accidents, de conjonctures et de curieuses juxtapositions d'événements [1] », elle nous démontre la « complexité de l'évolution humaine et le caractère imprévisible des ultimes conséquences de n'importe quel acte ou décision des hommes [2] ». Allons-nous vraiment croire que les règles naïves et simplistes servant de guides aux épistémologues peuvent répondre d'un tel « labyrinthe d'interactions [3] »? N'est-il pas clair qu'une participation réussie à un processus de cet ordre n'est possible que pour un opportuniste sans scrupule, qui n'est attaché à aucune philosophie particulière, et qui adopte n'importe quel procédé pourvu qu'il semble adapté aux circonstances?

[...] « Les conditions extérieures, écrit Einstein [4], qui sont posées pour "le scientifique" par les faits de l'expérience, ne lui permettent pas de se laisser trop restreindre dans la construction de son univers conceptuel par l'adhésion à un système épistémologique. Par conséquent, il doit apparaître à l'épistémologue systématique comme une sorte d'opportuniste sans scrupule [...]. » Un milieu complexe contenant des développements surprenants et imprévisibles réclame des procédures complexes, et défie une analyse fondée sur des règles établies à l'avance, qui ne tiennent pas compte des conditions historiques toujours changeantes.

Bien entendu, il est possible de simplifier le milieu dans lequel travaillent les scientifiques en en simplifiant les principaux acteurs. Mais l'histoire des sciences, après tout, ne consiste pas uniquement dans les faits et les conclusions qu'on en tire. Elle contient aussi des idées, des interprétations de faits, des problèmes créés par ces interprétations antagonistes, des erreurs et ainsi de suite. Nous découvrons même, par des analyses plus serrées, que la science ne connaît pas un seul « fait brut », mais que les « faits » qui entrent dans nos connaissances sont déjà considérés sous un certain angle, et sont, par conséquent, essentiellement spéculatifs. Ce point étant acquis, l'histoire de la science sera aussi complexe, chaotique, pleine d'erreurs et divertissante que le seront les idées qu'elle contient; et ces idées à leur tour seront aussi complexes, chaotiques, pleines d'erreurs et divertissantes que les esprits de ceux qui les auront inventées. Réciproquement, un léger lavage de cerveau réussira sans peine à rendre l'histoire de la science plus terne, plus simple, plus uniforme, plus « objective » et plus prête à se soumettre à des règles strictes et immuables.

L'éducation scientifique que nous connaissons aujourd'hui a précisément ce dernier but. Elle simplifie « la science » en simplifiant ses éléments. Tout d'abord, un domaine de recherche est défini. Ce domaine est séparé du reste de l'histoire (la physique, par exemple, est séparée de la métaphysique et de la théologie) et reçoit une « logique » qui lui est propre. Une formation poussée dans une telle « logique » conditionne alors ceux qui travaillent en ce domaine; cela rend leurs actions plus uniformes, et cela fige aussi de larges pans du processus historique. Des « faits » stables apparaissent et persévèrent malgré les vicissitudes de l'histoire. Un facteur essentiel de cette formation, qui permet à ces faits d'apparaître, consiste à inhiber les intuitions qui pourraient conduire à un estompage des frontières. La religion d'un individu, par exemple, ou sa métaphysique, ou son sens de l'humour (son sens « naturel » de l'humour, et non de cet humour de chapelle assez désagréable que l'on trouve dans certaines professions spécialisées) ne doivent pas avoir le moindre lien avec son activité scientifique. Son imagination est entravée, et même son langage cesse de lui appartenir [5]. Et cela se reflète encore la nature des « faits » scientifiques, qui sont vécus comme étant indépendants des opinions, des croyances et des appartenances culturelles.

Il est donc *possible* de créer une tradition et de la maintenir par des règles strictes; cela, dans une certaine mesure, permet des succès. Mais est-il souhaitable de soutenir une telle tradition en rejetant toute autre possibilité? Doit-on attribuer le droit exclusif de traiter la connaissance, avec pour conséquence que tout résultat obtenu par d'autres méthodes est éliminé sans appel?

C'est la question que j'ai l'intention de poser dans le présent essai. À cette question, ma réponse sera un NON ferme et retentissant.

Il y a deux raisons qui peuvent justifier ma réponse. La première, c'est que le monde que nous voulons explorer est largement inconnu. Nous devons donc rester ouverts à toutes les options, sans nous limiter à l'avance. Certaines prescriptions épistémologiques peuvent bien paraître admirables comparées à d'autres, ou à des principes généraux — mais qui peut garantir que ce sont elles qui permettent le mieux de découvrir, non pas quelques « faits » isolés, mais aussi des secrets de la nature profondément cachés? La seconde raison c'est qu'une éducation scientifique comme celle que nous venons de décrire (et qui est mise en pratique dans nos écoles) ne peut pas se concilier avec une attitude humaniste. Elle empêche de « cultiver l'individualisme qui seul produit, ou peut produire, des êtres humains développés »; elle « mutile par compression, comme les pieds des Chinoises, tout ce qui est remarquable dans la nature humaine », et éloigne l'individu des idéaux de rationalité qui se trouvent être pourtant à la mode en sciences ou dans la philosophie des sciences. Le désir d'accroître la liberté, de mener une vie pleine et enrichissante, et parallèlement, les efforts pour découvrir les secrets de la nature et de l'homme entraînent donc le rejet de tout principe universel et de toute tradition rigide. (Naturellement, une telle éducation scientifique entraînerait aussi le rejet d'une grande partie de la science contemporaine.)

[...] « Il n'est pas sûr, écrit un professeur "radical" de l'université de Columbia [6], que la recherche scientifique exige une liberté absolue de parole et de discussion. L'évidence suggère plutôt que certaines formes d'"illiberté" *(unfreedom)* ne constituent pas un obstacle au progrès de la science [...]. »

Il y a certainement des gens pour lesquels ce n'est « pas si évident ». Commençons donc notre esquisse d'une méthodologie anarchiste et d'une science anarchiste qui corresponde [7]. Il n'y a aucune raison de craindre qu'un souci moindre de la loi et de l'ordre en science et dans une société caractérisée par un anarchisme de cet ordre aboutisse au chaos. Le système nerveux de l'homme est trop bien organisé pour cela. Naturellement, il peut venir un temps où il sera nécessaire de donner à la raison un avantage temporaire, et où il sera sage de défendre ces règles à l'exclusion du reste. Je ne crois pas que nous vivions une telle époque aujourd'hui.

Notes

1. BUTTERFIELD, Herbert. The Whig Interpretation of History, New York, 1965, p. 66.

2. *Ibid.*, p. 21.

3. *Ibid.*, p. 25. Cf. Hegel, «Philosophie der Geschichte» in Werke, Berlin, Éd. Edward Gans, 1837, vol. 9, p. 9 : « Or ce que l'expérience et l'histoire nous apprennent, c'est que peuples et gouvernements n'ont jamais tiré de l'histoire aucun enseignement et n'ont jamais agi selon les leçons qu'on aurait pu en tirer. Chaque époque a des circonstances si propres à elle-même, elle est un état si individuel qu'elle doit nécessairement décider en elle-même et à partir d'elle-même et que c'est seulement ainsi qu'on peut décider. » « Très intelligent »; « habile et très intelligent »; « N.B. », écrit Lénine dans ces notes en marge de ce passage (*Oeuvres*, Paris, Éd. Sociales, 1971, vol. 38, p.292).

4. EINSTEIN, Albert. Albert Einstein : Philosopher Scientist, New York, Éd. P.A. Schilpp, 1951, p. 683.

5. Sur la détérioration du langage qui fait suite à un accroissement du professionnalisme, cf. mon essai: « Experts in a Free Society », The Critic, novembre-décembre 1970.

6. WOLFF, R.P. The poverty of Liberalism, Boston, 1968, p.15. Pour une critique plus détaillée de Wolff, voir la note 52 de mon essai «Against Method», in Minnesota Studies in the Philosophy of Science, vol. 4, Minneapolis, 1970.

7. En choisissant le terme « anarchiste » je n'ai fait que suivre l'usage général. Cependant l'anarchisme, tel qu'il fut ou est pratiqué, aussi bien dans le passé qu'aujourd'hui, par un nombre toujours croissant de personnes, a des caractéristiques que je suis loin de défendre. Il fait peu de cas des vies humaines et du bonheur des hommes (sauf en ce qui concerne les vies et le bonheur de ceux qui appartiennent à un certain groupe); et il contient précisément cette sorte de dévouement puritain et de rigueur que je déteste. (Il y a des exceptions raffinées telles que Cohn-Bendit, mais elles sont une minorité.) C'est pour ces raisons que je préfère maintenant utiliser le terme dadaïsme. Un dadaïste ne ferait pas de mal à une mouche — et encore moins à un être humain. Un dadaïste reste complètement froid devant une entreprise sérieuse quelconque, et il sent anguille sous roche dès qu'on cesse de sourire pour prendre une attitude et une expression faciale annonçant que quelque chose d'important va être dit. Un dadaïste est convaincu qu'une vie digne d'être vécue ne sera possible que si nous commençons par prendre les choses *à la légère*, et si nous supprimons de notre langage les sens profonds mais déjà pourris qu'il a accumulés au cours des siècles (« chercher la vérité »; «défendre la justice »; « s'intéresser passionnément», etc.). Un dadaïste est prêt à promouvoir des expériences joyeuses même dans les domaines où le changement et l'expérience semblent être exclus (exemple: les fonctions fondamentales du langage). J'espère qu'après avoir lu cette brochure, le lecteur se souviendra de moi comme d'un dadaïste désinvolte et non comme d'un anarchiste sérieux. Cf. note, p. 30.

Paul FEYERABEND. Contre la méthode. Paris, Seuil, 1979, pp. 13 à 19.

Les résultats obtenus jusqu'à présent conduisent à penser qu'on pourrait abolir la distinction entre contexte de découverte et contexte de justification, et la distinction connexe entre termes d'observation et termes théoriques. Ni l'une ni l'autre de ces distinctions ne joue de rôle dans la pratique scientifique. Toute tentative pour les renforcer aurait des conséquences désastreuses.

Servons-nous maintenant du matériel traité dans les sections précédentes pour éclairer plusieurs caractéristiques de l'empirisme contemporain: 1. la distinction entre contexte de découverte et contexte de justification; 2. la distinction entre termes d'observation et termes théoriques; 3. Le problème de l'incommensurabilité. Ce dernier problème nous ramènera au problème de la rationalité et de l'ordre comme opposés à l'anarchisme, c'est-à-dire au thème principal de cet essai.

L'une des objections qui peut être faite contre ma tentative de tirer des conclusions méthodologiques à partir d'exemples historiques, c'est qu'elle confond deux contextes essentiellement distincts: le contexte de découverte et le contexte de justification. La découverte peut être en soi irrationnelle et n'a pas besoin de suivre une méthode reconnue. La justification, elle, ou — pour parler la langue sacrée d'une autre école — la critique, commence après seulement que les découvertes ont été faites, et elle procède avec ordre. « C'est une chose, écrit Herbert Feigl, de retracer les origines historiques, les conditions socio-politico-économiques qui poussent à accepter ou à rejeter des théories scientifiques; mais c'en est une autre que de fournir une reconstruction logique de la structure conceptuelle et de la vérification des théories scientifiques [1]. » Ce sont en effet deux choses différentes, et ce d'autant plus clairement qu'elles relèvent de deux disciplines différentes (l'histoire des sciences et la philosophie des sciences) très jalouse de leur indépendance respective. Mais la question n'est pas de savoir de quelles distinctions un esprit fertile peut rêver lorsqu'il est confronté à un processus complexe, ou comment un matériau homogène peut être subdivisé par des accidents de l'histoire: la question est de savoir jusqu'à quel point la distinction faite reflète une différence réelle, et si la science peut avancer sans qu'il y ait forte interaction entre ces domaines séparés. (Une rivière peut être divisée par des frontières nationales: cela ne fait pas d'elle une entité discontinue.) Or, il y a, certes, une différence très nette entre les règles de la vérification telles qu'elles sont « reconstruites » par les philosophes de la science, et les méthodes utilisées par les scientifiques au cours de leur recherche réelle: cette différence apparaît à l'examen le plus superficiel. Mais d'autre part, l'examen le plus superficiel montre aussi qu'une application absolue des méthodes de critique et de preuve prêtées au contexte de justification bâillonnerait la science telle que nous la connaissons — et d'abord n'aurait jamais permis qu'elle apparaisse [2]. À l'inverse, le fait que la science existe prouve que l'on a souvent passé outre ces méthodes. On passait outre, grâce précisément à ces procédés que l'on attribue aujourd'hui au seul contexte de la découverte. En d'autres termes: dans l'histoire des sciences, les critères de justification interdisent souvent des opérations qui sont en fait suscitées par les conditions psychologiques, socio-économico-politiques ou d'autres conditions « externes» encore, et la science ne survit que parce qu'on laisse ces extrêmes opérations prévaloir. Ainsi, la tentative de « retracer les origines historiques, la genèse et le développement psychologiques, les conditions socio-politico-économiques qui entrent en jeu dans l'acceptation ou le rejet des théories scientifiques », loin d'être une entreprise entièrement indépendante des considérations de vérification, conduit en fait à une critique de ces considérations — dès lors que les deux domaines, celui de la recherche historique et celui de la discussion des procédures de vérification, ne sont pas séparés par décret.

Dans un récent article, Feigl ajoute à ces précédents arguments quelques éléments. Il est étonné « que (...) des érudits tels N.R. Hanson, Thomas Kuhn, Michael Polanyi, Paul Feyerabend, Sigmund Koch *et al*, considèrent la distinction comme non valide ou tout au moins trompeuse [3] ». Et il fait remarquer que ni la psychologie de l'invention ni aucune ressemblance, si grande soit-elle, entre les sciences et les arts, ne peuvent montrer que la dite distinction n'existe pas. En cela, il a certainement raison. Même les histoires les plus étonnantes sur la manière dont les scientifiques trouvent leurs théories ne peuvent exclure la possibilité qu'ils procèdent d'une manière tout à fait différente, une fois qu'ils les ont trouvées. Simplement cette possibilité n'est jamais réalisée. En inventant des théories et en les contemplant avec détachement, en « artistes », nous faisons souvent des opérations interdites par les règles

méthodologiques. Par exemple, nous interprétons les faits de telle sorte qu'ils s'ajustent à des idées fantaisistes, nous éliminons les difficultés par des procédures *ad hoc*, nous les mettons de côté, ou refusons tout simplement de les prendre au sérieux. Les activités qui, selon Feigl, appartiennent au contexte de découverte ne sont, par conséquent, pas seulement *différentes* de ce qui se passe dans le contexte de justification; elles sont opposées. Les deux contextes n'avancent pas côte à côte, ils se heurtent fréquemment. Et nous sommes alors confrontés au problème de savoir lequel des contextes doit recevoir un traitement préférentiel. Ceci sera pour moi la première partie de l'argument. Or, nous savons qu'en cas de conflit, les scientifiques choisissent parfois les opérations recommandées par le contexte de justification, mais qu'ils peuvent aussi choisir les opérations qui appartiennent au contexte de découverte, et qu'ils ont souvent d'excellentes raisons pour agir ainsi. En vérité, la science, telle que nous la connaissons aujourd'hui ne pourrait exister si l'on ne passait souvent outre au contexte de justification. Ce sera la deuxième partie de mon argument. La conclusion est alors claire. La première partie montre que nous n'avons pas seulement une différence, mais une alternative. La deuxième partie montre que les deux côtés de l'alternative sont également importants pour la science et qu'il faut leur donner un poids égal. Mais dès lors, nous n'avons plus affaire avec une alternative, nous avons affaire à *un seul domaine*, uniforme, *de procédures*, *toutes* également importantes pour le progrès de la science. Cela règle la question de la distinction.

Un argument similaire s'applique à la distinction rituelle entre *prescriptions* méthodologiques et *descriptions* historiques.

La méthodologie, dit-on, traite de ce qui devrait être fait, et elle ne peut pas être critiquée par référence à ce qui est. Nous devons naturellement nous assurer que nos prescriptions disposent d'un point d'ancrage dans le matériau historique, nous assurer aussi que leur application résolue conduit à des résultats dignes d'être recherchés: nous nous en assurons en considérant les tendances et les lois historiques, sociologiques, physiques, psychologiques, etc., qui nous éclairent sur ce qui est possible et ce qui ne l'est pas, dans les circonstances données et qui séparent ainsi les prescriptions fécondes de celles qui conduiraient à des impasses. Mais, encore une fois, le progrès ne peut être accompli que si la distinction entre ce qui devrait être et ce qui est, est considérée comme un point de vue temporaire, plutôt que comme une frontière fondamentale.

Une distinction qui peut avoir eu un sens jadis, mais qui l'a définitivement perdu, c'est celle entre termes d'*observation* et termes *théoriques*. Il est généralement admis aujourd'hui que cette distinction n'est pas aussi tranchée qu'on le pensait il y a seulement quelques dizaines d'années. Il est aussi admis, et ceci en accord avec les conceptions originales de Neurath, que théories et observations peuvent être abandonnées toutes les deux à la fois: les théories en raison d'observations conflictuelles, les observations pour des raisons théoriques. Finalement, nous avons découvert qu'apprendre n'est pas aller de l'observation à la théorie, mais comporte toujours les deux éléments. L'expérience surgit en même temps que les suppositions théoriques, et non pas avant elles; et une expérience sans théorie est tout aussi incompréhensible (fait-on remarquer) qu'une théorie sans expérience; si on élimine une partie de la connaissance théorique d'un sujet sensible, on aura une personne complètement désorientée et incapable d'accomplir l'action la plus simple. Si on élimine encore d'autres de ses connaissances, son monde sensoriel (son « langage d'observation ») commencera à se désintégrer, les couleurs et d'autres sensations simples disparaîtront, jusqu'à ce que le sujet atteigne un stade encore plus primitif que celui d'un enfant. Un enfant, d'autre part ne possède pas un monde perceptif stable dont il se sert pour donner une signification aux théories devant lesquelles on le place. Tout au contraire, il traverse différents stades perceptifs qui n'ont entre eux que des liens très lâches (les stades antérieurs disparaissant quand de nouveaux stades prennent le relais) et qui enveloppent tout le savoir théorique disponible à ce moment-là. Plus encore tout le processus commence que parce que l'enfant réagit correctement à des signaux, qu'il les interprète correctement; en somme parce qu'il possède des moyens d'interprétation avant même d'avoir fait l'expérience de sa première sensation claire.

Toutes ces découvertes réclament une nouvelle terminologie qui ne sépare plus des éléments intimement liés dans le développement à la fois de l'individu et de la science en général. Cependant, la distinction entre observation et théorie est encore maintenue et reste défendue par presque tous les philosophes de la science. Mais à quoi sert-elle? Personne ne niera que les phrases de la science peuvent être classées en phrases longues et en phrases courtes, ni que ses énoncés peuvent être classés en : ceux qui sont intuitivement évidents et les autres, qui ne le sont pas. Personne ne niera que de telles distinctions peuvent être faites. Mais personne ne leur donnera un grand poids ou même ne les mentionnera,

car elles ne jouent actuellement aucun rôle décisif dans les affaires de la science. (Cela n'a pas toujours été le cas. Par exemple, on a pensé jadis que la plausibilité intuitive était un guide important sur le chemin de la vérité; elle a disparu de la méthodologie au moment où l'intuition a été remplacée et par l'expérience, et par des considérations formelles.) L'expérience, à son tour, joue-t-elle un rôle? Nous avons vu que non. Pourtant, que la distinction théorie/observation ait maintenant cessé d'être pertinente est une inférence qui demeure moins négligée, soit explicitement rejetée. Allons donc plus loin, et abandonnons cette dernière trace du dogmatisme dans les sciences!

Notes

1. « The Orthodox View of Theories », *Analysises of Theories and Methods of Physics and Psychology*, Minneapolis, Éd. Radner and Winokur, 1970, p. 4.

2. Cf. les exemples du chapitre 5.

3. « Empiricism at Bay », *MS*, 1972, p. 2.

Paul FEYERABEND. Contre la méthode. Paris, Seuil, 1979, pp. 180 à 185.

CONTRE LA MÉTHODE (chapitre 18)

Ainsi, la science est beaucoup plus proche du mythe qu'une philosophie scientifique n'est prête à l'admettre. C'est l'une des nombreuses formes de pensée qui ont été développées par l'homme, mais pas forcément la meilleure. La science est indiscrète, bruyante, insolente; elle n'est essentiellement supérieu-re qu'aux yeux de ceux qui ont opté pour une certaine idéologie, ou qui l'ont acceptée sans avoir jamais étudié ses avantages et ses limites. Et comme c'est à chaque individu d'accepter ou de rejeter des idéolo-gies, il s'ensuit que la séparation de l'État et de l'Église doit être complétée par la séparation de l'État et de la Science: la plus récente, la plus agressive et la plus dogmatique des institutions religieuses. Une telle séparation est sans doute notre seule chance d'atteindre l'humanité dont nous sommes capables, mais sans l'avoir jamais pleinement réalisée

L'idée que la science peut, et doit, être organisée selon des règles fixes et universelles est à la fois utopique et pernicieuse. Elle est utopique, car elle implique une conception trop simple des aptitudes de l'homme et des circonstances qui encouragent, ou causent, leur développement. Et elle est pernicieuse en ce que la tentative d'imposer de telles règles ne peut manquer de n'augmenter nos qualifications professionnelles qu'aux dépens de notre humanité. En outre, une telle idée est préjudiciable à la science, car elle néglige les conditions physiques et historiques complexes qui influencent en réalité le changement scientifique. Elle rend notre science moins facilement adaptable et plus dogmatique: chaque règle méthodologique étant associée à des hypothèses cosmologiques, l'usage de l'une nous fait considérer la justesse des autres comme allant de soi. Le falsificationisme naïf tient ainsi pour acquis que les lois de la nature sont manifestes, et non pas cachées sous des perturbations d'une ampleur considérable; l'empirisme, que l'expérience des sens est un miroir du monde plus fidèle que la pensée pure; le rationalisme, enfin, que les artifices de la raison donnent de meilleurs résultats que le libre jeu des émotions. Si de telles hypothèses peuvent être parfaitement plausibles, et même vraies, encore est-il nécessaire de les vérifier de temps en temps — les vérifier, c'est-à-dire cesser de nous servir de la méthodologie qui leur est associée, commencer à pratiquer la science d'une manière différente, et attendre pour voir ce qui arrive. Des études de cas comme celles des chapitres précédents montrent du reste que de tels tests se font constamment, et qu'ils témoignent contre la validité universelle de n'importe qu'elle règle. Toutes les méthodes ont leurs limites, et la seule « règle » qui survit c'est: « Tout est bon. »

Le changement de perspective apporté par ces constatations pose une fois de plus le problème, oublié depuis longtemps, de l'excellence de la science. Il pose pour la première fois dans l'histoire moderne, car la science moderne a écrasé ses adversaires sans les avoir convaincus. La science a pris la relève par la force, non par le raisonnement (ceci est particulièrement vrai pour les anciennes colonies où la science et la religion de l'amour du prochain furent introduites comme si ça allait de soi, sans consulter les habitants ni discuter avec eux). Aujourd'hui, nous comprenons que le rationalisme, étant lié à la science, ne peut nous apporter aucune aide dans la lutte de la science contre le mythe; et nous savons aussi, d'après des enquêtes de nature tout à fait différente, que les mythes sont infiniment supérieurs à ce que les rationalistes sont prêts à admettre [1]. Ainsi, nous sommes maintenant obligés de soulever la question de l'excellence de la science. Un examen révèle que la science et le mythe se chevauchent de bien des manières, que les différences que nous croyons percevoir entre eux sont souvent des faits localisés qui peuvent se transformer en ressemblance ailleurs, et que les divergences fondamentales résultent de différences de but plutôt que de différences entre des méthodes qui tenteraient d'atteindre une seule et même fin « rationnelle » (telle que, par exemple le « progrès », ou l'augmentation du contenu, ou la « croissance »).

Pour montrer les ressemblances surprenantes du mythe et de la science, je discuterai brièvement un intéressant essai de Robin Horton, intitulé « La pensée traditionnelle africaine et la science occidentale [2] ». Horton, en étudiant la mythologie africaine, découvre les traits suivants: la recherche d'une théorie est la recherche d'une unité cachée sous une apparente complexité; la théorie place les choses dans un contexte causal plus large que le contexte causal offert par le sens commun: la science comme le mythe, coiffe le sens commun d'une superstructure théorique; il y a des théories plus ou moins abstraites, et elles sont utilisées en accord avec les différents besoins d'explication qui se présentent; construire une théorie consiste à causer des objets de sens commun et à en recoller les éléments d'une manière différente; les modèles théoriques partent

d'analogies, mais ils s'éloignent progressivement du motif qui fondait l'analogie; et ainsi de suite.

Ces caractéristiques, qui émergent d'études de cas non moins sérieuses et détaillées que celles de Lakatos, réfutent l'idée que la science et le mythe obéissent à des principes de formation différents (Cassirer); que le mythe procède sans réflexion (Dardel) ni spéculation (Frankfort, à l'occasion). Nous ne pouvons pas accepter non plus l'idée, qu'on trouve chez Malinowski, mais aussi chez des savants classiques comme Harrison et Cornford, que le mythe a une fonction essentiellement pragmatique ou qu'il est basé sur le rite. Le mythe est bien plus proche de la science qu'on pourrait s'y attendre après une discussion philosophique. Il est plus proche de la science qu'Horton lui-même n'est prêt à l'admettre.

Pour le voir, considérons quelques-unes des différences soulignées par Horton. Selon lui, les idées centrales d'un mythe sont considérées comme sacrées. Il y a angoisse dès qu'elles sont menacées. On « ne trouve presque jamais un aveu d'ignorance [3] », et les événements qui « défient sérieusement les ligne de classification établies dans la culture où ils apparaissent "provoquent" une réaction de tabou [4] ». Les croyances fondamentales sont donc protégées par cette réaction, tout comme par le mécanisme des « élaborations secondaires [5] »: soit, dans notre jargon, des séries d'hypothèses *ad hoc*. La science, elle, est caractérisée pour Horton par un « scepticisme essentiel[6] »: « Quand les échecs commencent à se multiplier, la défense de la théorie se transforme inexorablement en une attaque qui la vise[7]. » Ceci serait rendu possible par l'« ouverture» de l'entreprise scientifique, le pluralisme des idées qu'elle contient et aussi le fait que pour elle « quoique ce soit qui défie le système établi, ou qui échoue à s'y adapter, ce n'est pas une chose horrible qu'il faudrait isoler et expulser. Au contraire, c'est un "phénomène" curieux —un point de départ et un défi pour l'intervention de nouvelles classifications et de nouvelles théories [8] ». Nous constatons qu'Horton connaît bien son Popper [9]. Seulement une étude sur le terrain de la science elle-même donne une image très différente.

Une telle étude révèle que, tandis que quelques scientifiques procèdent sans doute ainsi, la grande majorité suit un chemin différent. Le scepticisme est réduit au minimum; il est dirigé contre les conceptions de l'opposition et contre des ramifications mineures des idées fondamentales, mais jamais contre les idées fondamentales elles-mêmes [10]. Attaquer les idées fondamentales provoque des réactions de tabou qui ne sont pas plus faibles que celles des sociétés primitives [11]. Les croyances fondamentales sont protégées par cette réaction tout autant que par des élaborations secondaires, nous l'avons vu; et tout ce qui ne réussit pas à s'intégrer dans le système des catégories établies, ou tout ce que l'on dit être incompatible avec ce système, se trouve soit considéré comme tout à fait horrible, soit, plus fréquemment, simplement tenu pour inexistant. Et la science n'est pas davantage prête à faire du pluralisme théorique le fondement de la recherche. Newton régna pendant plus de 150 ans; et si Einstein introduisit pendant une brève période un point de vue plus libéral, ce ne fut que pour être suivi par l'interprétation de Copenhague. Les ressemblances entre la science et le mythe sont vraiment surprenantes!

Mais les deux domaines sont encore plus proches. Le dogmatisme massif que j'ai décrit n'est pas seulement un fait, il a une fonction très importante: la science serait inconcevable sans lui [12]. Les penseurs « primitifs» savaient mieux comprendre la nature de la connaissance que leurs rivaux, les philosophes « éclairés ». Il est donc nécessaire de revoir notre attitude envers le mythe, la religion, la magie, la sorcellerie, et toutes ces idées que les rationalistes voudraient voir disparaître de la surface de la Terre (sans même les avoir tant soit peu regardées — ce qui constitue une réaction tabou typique).

Il y a une autre raison pour laquelle il est urgent d'opérer ce réexamen. La montée de la science moderne coïncide avec la suppression des sociétés non occidentales par les envahisseurs occidentaux. Ces sociétés ne sont pas seulement physiquement supprimées, elles perdent aussi leur indépendance intellectuelle et sont forcées d'adopter la religion sanguinaire de l'amour du prochain — le christianisme. Leurs individus les plus intelligents obtiennent un bonus supplémentaire: ils sont introduits dans les mystères du rationalisme occidental, avec à son sommet — la science occidentale. Il arrive que cela mène, au regard de la tradition, à une tension presque insupportable (Haïti). Dans la plupart des cas, la tradition disparaît sans trace d'aucune discussion; on devient tout simplement esclave dans son esprit comme dans son corps. Or, aujourd'hui, ce mouvement s'inverse progressivement — avec beaucoup de mauvaise volonté, naturellement, mais il s'inverse. La liberté est reconquise, les vieilles traditions sont redécouvertes à la fois dans les minorités des pays occidentaux, et dans une grande partie des populations des continents non occidentaux. Mais la science règne encore en maître. Elle règne en maître parce que ses praticiens sont

incapables de comprendre des idéologies différentes, et ne veulent pas composer avec elles; parce qu'ils ont le pouvoir d'imposer leurs désirs; et parce qu'ils se servent de ce pouvoir exactement comme leurs ancêtres se servaient de leur pouvoir pour imposer le christianisme aux peuples qu'ils rencontraient au cours de leurs conquêtes. C'est ainsi que si un Américain peut bien aujourd'hui choisir la religion qu'il veut, on ne lui permet pas jusqu'à nouvel ordre d'exiger que ses enfants apprennent à l'école la magie plutôt que la science. Il y a une séparation entre l'Église et l'État, il n'y a pas de séparation entre l'État et la Science.

Et cependant la science n'a pas une plus grande autorité qu'aucune autre forme de vie. Ses buts ne sont certainement pas plus essentiels que ne le sont ceux qui servent de guides aux membres d'une communauté religieuse, ou d'une tribu unie par un mythe. En tout cas, ses buts n'ont aucun intérêt à restreindre les vies, les pensées, l'éducation des membres d'une société libre, où chacun devrait avoir l'occasion de faire son propre choix et de vivre selon les croyances sociales qu'il trouve les plus acceptables. C'est dire que la séparation de l'Église et de l'État doit avoir pour complément la séparation de l'État et la Science.

Nous n'avons pas à craindre qu'une telle séparation mène à un écroulement de la technologie. Il y aura toujours des hommes pour préférer être des scientifiques à être maîtres de leur sort, et qui se soumettront volontiers à la plus vile espèce d'esclavage (intellectuel et institutionnel), pourvu qu'on les paie bien et pourvu aussi qu'il y en ait d'autres autour d'eux pour examiner leur travail et chanter leurs louanges. La Grèce s'est développée et a progressé parce qu'elle pouvait compter sur les services d'esclaves involontaires. Nous nous développerons et progresserons grâce à de nombreux esclaves volontaires travaillant dans les universités et les laboratoires pour nous fournir nos pilules, notre gaz, notre électricité, nos bombes atomiques, nos dîners surgelés, et à l'occasion, quelques contes de fées intéressants. Nous traiterons bien ces esclaves, et même nous les écouterons, car ils peuvent avoir des choses importantes à dire; mais nous ne leur permettrons pas d'imposer leur idéologie à nos enfants sous le couvert de théories « progressistes » de l'éducation [13]. Nous ne leur permettrons pas d'enseigner les fantasmes de la science comme s'ils étaient les seuls énoncés factuels. La séparation de la Science et de l'État peut être notre seule chance de vaincre la barbarie forcenée de l'âge technico-scientifique et d'accéder à l'humanité dont nous sommes capables, sans l'avoir jamais pleinement réalisée [14]. Revoyons, en conclusion, les arguments qui peuvent être invoqués pour une telle procédure.

L'image de la science du XXe siècle, dans l'esprit des scientifiques et des profanes, repose sur des miracles technologiques tels que la télévision en couleurs, les tirs lunaires, les fours à rayons infra-rouges, ainsi que sur des on-dit, vagues, mais déterminants, des sortes de contes de fées touchant la manière dont ces miracles sont produits.

Selon ces contes, le succès de la science provient d'une combinaison soigneusement équilibrée de créativité et de contrôle; les scientifiques ont des idées; et ils ont des méthodes particulières pour améliorer ces idées. Les théories de la science ont elles-mêmes passé ce test de la méthode: elles donnent donc une image du monde plus juste que les idées qui n'ont pas passé ce test.

Ce conte explique pourquoi la société moderne traite la science d'une manière particulière et pourquoi elle lui accorde des privilèges dont ne jouissent pas les autres institutions.

Théoriquement l'État moderne est idéologiquement neutre. La religion, le mythe, les préjugés ont bien une influence mais seulement indirecte, par le biais des groupes politiquement influents. Des principes idéologiques peuvent entrer dans la structure gouvernementale, mais seulement par le canal d'un vote majoritaire, et à la suite d'une longue discussion sur leurs conséquences possibles. Dans nos écoles, les principales religions sont enseignées comme des données historiques. Elles ne sont enseignées comme des éléments de vérité que si les parents insistent sur un mode d'instruction plus direct. C'est à eux de décider de l'éducation religieuse de leurs enfants. Le soutien financier aux idéologies n'excède pas le soutien financier alloué à des parties ou à des groupes privés. L'État et l'Église, l'État et le mythe sont soigneusement séparés.

L'État et la Science, cependant, travaillent en étroite liaison. D'immenses sommes sont dépensées pour le progrès des idées scientifiques. Des disciplines bâtardes qui n'ont pas une seule découverte à leur crédit, comme la philosophie des sciences, profitent du boom de la science. Même les relations humaines sont traitées de manière scientifique, comme le montrent les programmes d'éducation, les propositions de réforme des prisons, l'entraînement de l'armée, et ainsi de suite. Presque toutes les matières scientifiques sont obligatoires dans nos écoles. Si les parents d'un enfant de 6 ans

peuvent décider de le faire instruire dans les rudiments du protestantisme ou de la foi juive, ou décider tout simplement de ne pas lui donner d'instruction religieuse, ils n'ont pas la même liberté dans le cas des sciences. Il faut absolument apprendre la physique, l'astronomie, l'histoire. On n'a pas le droit de remplacer par la magie, l'astrologie ou l'étude des légendes.

On ne se contente pas non plus d'une présentation simplement historique des faits et des principes physiques (astronomiques, historiques, etc.). On ne dit pas: certaines personnes croient que la Terre tourne autour du Soleil, tandis que d'autres considèrent la Terre comme une sphère creuse qui contient le Soleil, les planètes, les étoiles fixes. On dit: la Terre tourne autour du Soleil — et tout le reste n'est qu'absurdité.

Finalement, la manière dont nous acceptons ou rejetons les idées scientifiques est radicalement différente des procédures de décisions démocratiques. Nous acceptons les lois et les faits scientifiques, nous les enseignons dans nos écoles, nous en faisons la base de décisions politiques importantes, mais sans les avoir jamais soumises au vote. Les scientifiques ne les soumettent pas au vote — tout au moins, c'est ce qu'ils disent — et les profanes, assurément pas davantage. Des propositions concrètes sont discutées à l'occasion, et un vote est proposé. Mais la procédure n'est pas étendue aux théories ni aux faits scientifiques les plus généraux. La société moderne est « copernicienne », non parce que le copernicianisme a été soumis à un scrutin, et à un débat démocratique, pour être ensuite choisi à la majorité simple, elle est copernicienne parce que les scientifiques sont coperniciens et parce qu'on accepte leur cosmologie avec peu de sens critique qu'on a accepté jadis la cosmologie des évêques et des cardinaux.

Même de hardis penseurs révolutionnaires s'inclinent devant le jugement de la science. Kropotkine veut briser toutes les institutions existantes, mais il ne touche pas à la science. Ibsen va très loin pour démasquer la condition de l'humanité contemporaine — mais il conserve la science comme mesure de vérité. Evans-Pritchard, Lévi-Strauss et d'autres on reconnu que la «pensée occidentale » loin d'être un sommet solitaire du développement humain, était troublée par des problèmes qu'on ne retrouve pas dans d'autres idéologies — mais ils excluent la science de leur relativisation de toute forme de pensée. Même pour eux, la science est une structure neutre, contenant les connaissances positives indépendantes de la culture, de l'idéologie ou des préjugés.

La raison de cette position particulière vis-à-vis de la science est, naturellement, notre petit conte de fées: si la science a trouvé une méthode qui transforme les idées idéologiquement viciées en théories vraies et utiles elle n'est effectivement plus elle-même une simple idéologie mais une mesure objective de toutes les idéologies. Et par conséquent, elle n'est plus soumise à l'obligation d'une séparation entre l'état et l'idéologie.

Or, nous avons vu que ce conte de fées est faux. Il n'y a pas de méthode particulière qui puisse garantir le succès d'une recherche ou le rendre probable. Les scientifiques résolvent des problèmes non pas parce qu'ils possèdent une baguette magique — la méthodologie, ou une théorie de la rationalité — mais parce qu'ils ont longtemps étudié un problème, parce qu'ils en connaissent assez bien les données, parce qu'ils ne sont pas tout à fait idiots (bien qu'on puisse en douter aujourd'hui où n'importe qui peut devenir un scientifique) et parce que les excès d'une école scientifique sont presque toujours équilibrés par les excès d'une autre. (En outre, les scientifiques ne résolvent que rarement leurs problèmes, ils font beaucoup d'erreurs, et un grand nombre de leurs solutions sont parfaitement inutiles.) Un fait, il n'y a presque pas de différence entre le processus qui conduit à l'annonce d'une nouvelle loi scientifique et le processus qui précède le passage d'une nouvelle loi dans la société: on informe soit tous les citoyens, soit ceux qui sont immédiatement concernés; on rassemble « faits » et préjugés, on discute l'affaire, et finalement on vote. Mais tandis qu'une démocratie fait quelque effort pour expliquer le processus, pour que chacun puisse le comprendre, les scientifiques ou bien le cachent, ou bien le déforme pour l'ajuster à leurs propres intérêts sectaires.

Au demeurant, aucun scientifique n'admettra que le vote joue un rôle dans son domaine. Les faits, la logique et la méthodologie seuls décident — c'est là ce que nous raconte le conte de fées. Mais comment décident les faits? Quelle est leur fonction dans l'avancement de la connaissance? Nous ne pouvons pas en faire découler nos théories. Nous ne pouvons pas davantage donner un critère *négatif* en disant, par exemple, que les bonnes théories sont des théories qui peuvent être réfutées mais ne sont encore contredites par aucun fait. De sorte que le principe de falsification, qui écarte une théorie dès lors qu'elle ne concorde pas avec les faits, devrait écarter l'ensemble de la science (ou bien il devrait admettre que de grandes parties de la science ne sont pas réfutables). L'idée qu'une bonne théorie explique plus que sa rivale n'est pas non plus très réaliste. Il est vrai

que de nouvelles théories font souvent des prédictions nouvelles — mais presque toujours au dépend du déjà connu. Nous tournant alors vers la logique, nous prenons conscience que même ses exigences les plus simples ne sont pas satisfaites dans la pratique de la science, et qu'elles ne pourraient pas l'être en raison de la complexité du matériau, car les idées dont se servent les scientifiques pour présenter le connu et progresser dans l'inconnu ne s'accordent que rarement avec les commandements stricts de la logique ou des mathématiques pures; et si l'on essayait d'imposer ces commandements, la science perdrait cette souplesse sans laquelle aucun progrès ne peut être accompli. Nous le voyons: les faits seuls ne sont pas assez puissants pour nous faire accepter ou rejeter des théories scientifiques; ils laissent à la pensée un champ trop large. À l'inverse la logique et la méthodologie éliminent trop, elles sont trop étroites. Entre ces deux extrêmes se trouve le domaine toujours changeant des désirs et des idées des hommes. Et une analyse plus détaillée des meilleurs coups dans le jeu de la science (« meilleurs » du point de vue des scientifiques eux-mêmes) montre qu'en effet il y a une grande marge de liberté, qui exige l'existence d'une multiplicité d'idées, et permet l'application de procédures démocratiques (scrutin-discussion-vote) mais que cela, de fait, est interdit par la politique et la propagande. C'est ici que le conte de fées d'une méthode particulière assume sa fonction décisive. Il cache aux scientifiques créateurs et au grand public la liberté de décision qu'ils possèdent jusque dans les parties les plus rigides et les plus avancées de la science, par la litanie des critères « objectifs »; protégeant ainsi des masses (profanes, experts dans les domaines non scientifiques, experts dans d'autres domaines scientifiques) les grands pontes (prix Nobel; chefs de laboratoire, directeurs d'institutions, telles que l'AMA — Ordre des médecins; « éducateurs », etc.). Seuls comptent les citoyens qui ont été soumis aux pressions des institutions scientifiques (ils ont subi un long processus d'éducation), qui ont succombé à ces pressions (ils ont passé leurs examens), et qui sont maintenant fermement convaincus de la vérité du conte de fées. C'est ainsi que les scientifiques se sont abusés, et ont abusé tout le monde sur leur métier, mais sans y perdre aucun avantage: ils ont plus d'argent, plus d'autorité, plus de sex-appeal qu'ils ne le méritent, et les procédures les plus stupides, les résultats les plus stupides sont, dans leur domaine, entourés d'un aura de prestige. Il est temps de les faire tomber de leur piedestal et de leur donner dans la société une position plus modeste.

Cette opinion qu'un petit nombre seulement de nos contemporains, trop bien conditionnés, sont prêts à accepter, semblent se heurter à certains faits simples et bien connus.

N'est-ce pas un fait qu'un docteur très savant est mieux à même de diagnostiquer et de guérir une maladie qu'un prophète ou le guérisseur d'une société primitive? N'est-ce pas un fait que les épidémies et les maladies graves n'ont disparu qu'avec les débuts de la médecine moderne? Ne devons-nous pas admettre que la technologie a fait d'énormes progrès depuis l'avènement de la science moderne? Et les tirs lunaires ne constituent-ils pas la preuve la plus impressionnante et la plus indéniable de son excellence? Voici quelques questions que l'on jette au misérable impudent qui ose critiquer la position particulière des sciences.

Ces questions n'ont de portée polémique que si l'on suppose les résultats de la science, que personne ne nie, apparus sans aucune aide d'éléments non scientifiques; il faut aussi supposer qu'ils ne peuvent pas être améliorés par l'addition d'un mélange de ces derniers; que les procédés « non scientifiques » tels que la connaissance des plantes possédée par les sorcières et les charlatans, l'astronomie des mystiques, les soins donnés aux malades dans les sociétés primitives, sont absolument sans mérite; et que la science seule nous donne une astronomie utile, une médecine effective, une technologie fiable. Il faut en outre présumer que la science doit son succès à une méthode correcte et pas seulement à des accidents favorables; que ce n'est pas une conjoncture cosmologique heureuse qui a conduit au progrès, mais le maniement correct et cosmologiquement neutre des données. Ce sont là les suppositions que nous devons faire pour donner aux questions précédentes la force polémique qu'elles sont censées avoir. Or, pas une seule d'entre elles ne tient devant un examen plus sérieux.

L'astronomie moderne a commencé avec la tentative de Copernic pour adapter les idées anciennes de Philolaos aux nécessités des prédictions astronomiques. Philolaos n'était pas un scientifique rigoureux, mais le pythagoricien brouillon que nous savons (note 1, p. 70), et les conséquences de sa doctrine furent qualifiées d'« incroyablement ridicules » par un astronome professionnel tel que Ptolémée (note 3, p. 49). Galilée même, qui avait sous les yeux la version, très améliorée par Copernic, de Philolaos, écrit: « Il n'y a pas de limite à mon admiration quand je réfléchis qu'Aristarque et Copernic furent capables d'amener la raison à conquérir les sens au mépris de ces derniers, la première devenant

maîtresse de leurs croyances » (*Dialogo op. cit.*, III, p. 81-82). Or les « sens » réfèrent ici aux expériences faites par Aristote et d'autres pour montrer que la Terre était immobile. La « raison » que Copernic oppose à leurs arguments est donc la raison très mystique de Philolaos associée à une foi également mystique («mystique » du point de vue des rationalistes d'aujourd'hui) dans le caractère fondamental du mouvement circulaire. J'ai montré que l'astronomie et la dynamique modernes n'auraient pas pu avancer sans cette utilisation non scientifique d'idées antédiluviennes.

Tandis que l'astronomie tirait parti du Pythagorisme et de l'amour des cercles chez Platon, la médecine tirait profit de la science des plantes, de la psychologie, de la métaphysique, et de la physiologie des sorcières, sages-femmes, charlatans et marchands de drogues ambulants. Il est bien connu que la médecine du XVIe et XVIIe siècles, bien qu'hypertrophiée du côté théorique, était totalement impuissante devant la maladie (et le resta pendant longtemps après la « révolution scientifique »). Des innovateurs comme Paracelse firent progresser la médecine en reprenant des idées antérieures. Partout, la science s'enrichit à l'aide de méthodes et de résultats non scientifiques, tandis que des procédés souvent considérés comme des parties essentielles de la science sont tranquillement suspendus ou contournés.

Ce processus ne se restreint pas au début de l'histoire de la science moderne. Il n'est pas simplement une conséquence de l'état primitif des sciences aux XVIe et XVIIe siècles. Même aujourd'hui, la science peut tirer profit, et le fait, de ce qu'on lui ajoute des ingrédients non scientifiques. Un exemple, que nous avons discuté plus haut (au chapitre 4), nous est donné par la reconnaissance de la médecine traditionnelle dans la Chine communiste. Lorsque les communistes, au cours des années cinquante, forcèrent les hôpitaux et les écoles de médecine à enseigner les idées et les méthodes contenues dans le *Livre jaune impérial de médecine interne* et à s'en servir pour soigner les malades, bien des experts occidentaux (parmi lesquels Eccles, l'un des «chevaliers poppériens ») furent horrifiés et prédirent la chute de la médecine chinoise. Ce fut exactement l'inverse qui arriva. L'acupuncture, les moxas, le diagnostic par le pouls ont conduit à de nouvelles perspectives, de nouvelles méthodes de traitement, de nouveaux problèmes, posés à la fois au médecin occidental et au médecin chinois. Et ceux qui n'aiment pas voir l'État se mêler des affaires de la science devraient se rappeler le chauvinisme farouche de celle-ci: pour la plupart des scientifiques, le slogan « liberté pour la science » signifie la liberté d'endoctriner non seulement ceux qui se sont joints à elle, mais aussi le reste de la société. Naturellement tous les mélanges d'ingrédients scientifiques et non scientifiques ne réussissent pas (exemple Lysenko). Mais la science ne réussit pas toujours non plus. Si les mélanges doivent être évités parce qu'il leur arrive de faire long feu, alors la science pure (si elle existe vraiment) doit aussi être évitée. (Ce n'est pas à l'interférence de l'État qu'il faut objecter, dans le cadre de Lysenko, mais à l'interférence totalitaire qui tue l'adversaire au lieu de le laisser suivre sa propre voie [15])

En combinant cette information avec le sentiment que la science n'a pas de méthode particulière, nous arrivons à la conclusion que de séparer la science de la non-science est non seulement artificiel, mais aussi nuisible à l'avancement de la connaissance. Si nous voulons comprendre la nature, si nous voulons maîtriser notre environnement physique, nous devons nous servir de toutes les idées, de toutes les méthodes et non pas seulement une sélection de quelques-unes d'entre elles. Affirmer, à l'inverse, qu'il n'y a pas de connaissance en dehors de la science — *extra scientiam nulla salus* — n'est rien d'autre qu'un conte de fées fort commode. Les tribus primitives ont ainsi des classifications d'animaux et de plantes plus détaillées que la zoologie et la botanique scientifiques contemporaines; elles connaissent des remèdes dont l'efficacité stupéfie les médecins (d'ailleurs l'industrie pharmaceutique flaire déjà là une nouvelle source de revenus); elles ont, pour influencer leurs prochains, des moyens que la science pendant longtemps a considéré comme inexistants (Vaudou); elles résolvent des problèmes difficiles en leur apportant des solutions qui ne sont pas encore parfaitement comprises de nous (constructions des pyramides, voyages polynésiens). De même, il existait une astronomie hautement développée et internationalement connue au vieil âge de la pierre; cette astronomie était factuellement adéquate et en même temps émotionnellement satisfaisante, car elle résolvait à la fois des problèmes physiques et des problèmes sociaux (on ne peut pas en dire autant de l'astronomie moderne), et elle était vérifiée par des moyens très simples et ingénieux (observatoires de pierre en Angleterre et dans le sud du Pacifique; écoles astrono-miques en Polynésie — pour des commentaires plus détaillés et des références, cf. mon *Einführung in die Naturphilosophie*). Il y eut aussi la domestication des animaux, l'invention de la jachère en agriculture; de nouveaux

types de plantes produits et sélectionnés en évitant soigneusement les croisements; plus certaines inventions chimiques; enfin, un art, des plus étonnants, et qu'on peut comparer avec les meilleures oeuvres de notre temps. Il est vrai qu'il n'y eut pas d'excursions collectives dans la Lune; mais certains individus, insouciants des grands dangers qui menaçaient leur âme et leur raison, s'élevaient de sphère en sphère, pour finalement se tenir face à Dieu lui-même, dans toute sa splendeur, tandis que d'autres se transformaient en animaux, puis redevenaient humains (notes 1 et 2, p. 209). En tout temps, l'homme a abordé son environnement avec des sens grands ouverts et une intelligence fertile; de tout temps il a fait d'incroyables découvertes; à toutes les époques, ses idées nous permettent d'apprendre.

La science moderne, d'autre part, n'est ni aussi difficile ni aussi parfaite que la propagande scientifique veut nous le faire croire. Un champ comme la médecine, la physique ou la biologie, ne nous paraît difficile que parce qu'il est mal enseigné, que les programmes courants sont remplis de redondances, et qu'ils interviennent trop tard dans notre vie. C'est ainsi que, pendant la guerre, quand l'armée américaine eut besoin de former des médecins en très peu de temps, il devint soudain possible de réduire les études médicales à une demi-année (les manuels faits pour ces études ont cependant disparu depuis longtemps: la science peut être simplifiée pendant la guerre; en temps de paix, son prestige réclame une plus grande complication). Et combien de fois n'arrive-t-il pas que le jugement vaniteux d'un expert soit remis à sa place par un profane! De nombreux inventeurs ont construit des machines « impossibles ». Des avocats démontrent sans cesse que les experts ne connaissent rien à ce dont ils parlent. Différents scientifiques, particulièrement les médecins, arrivent souvent sur la même question à des conclusions différentes, de sorte que ce sont les parents du malade (ou les habitants d'un quartier) qui doivent décider par un vote de la procédure à adopter. On ne se rend pas compte à quel point il est fréquent que la science soit améliorée, et qu'elle prenne des directions nouvelles, grâce à des influences non-scientifiques! C'est à nous, c'est aux citoyens d'une société libre, que revient le devoir soit d'accepter sans restriction le chauvinisme de la science, soit de le dominer par le contre-pouvoir de l'action publique. L'action publique a été utilisée contre la science par les communistes en Chine dans les années cinquante, et elle le fut encore, dans des circonstances très différentes, par des opposants à ce qu'on appelle l'évolution en Californie, dans les années soixante-dix. Suivons leur exemple, et libérons la société du pouvoir d'étranglement de la vraie-et-unique-religion!

La route vers ce but est claire. Une science qui se targue de posséder la seule méthode correcte et les seuls résultats acceptables est une idéologie, et doit être séparée de l'État et particulièrement de l'éducation. On peut l'enseigner, mais seulement à ceux qui ont décidé d'adopter cette superstition particulière. D'autre part, une science qui a laissé tomber des prétentions aussi totalitaires n'est plus indépendante et ne suffit pas à elle-même; on peut alors l'enseigner avec de nombreuses combinaisons différentes (le mythe et la cosmologie moderne peuvent être l'une de ces combinaisons). Naturellement, toute profession a le droit d'exiger que ses praticiens soient formés d'une manière particulière, et elle peut même exiger qu'ils acceptent une certaine idéologie (quant à moi, je suis contre le rétrécissement des domaines, qui finit par les faire se ressembler de plus en plus: celui qui n'aime pas le catholicisme d'aujourd'hui devrait en sortir et devenir protestant ou athée, au lieu de le détruire par des changements aussi absurdes que la célébration de la messe en langue vulgaire). C'est vrai de la physique comme ça l'est de la religion ou de la prostitution. Mais des idéologies aussi spéciales, des talents aussi spéciaux, n'ont pas de place dans le processus de l'éducation *générale* qui prépare un citoyen à son rôle dans la société. Un citoyen responsable n'est pas un homme qui a été instruit dans une idéologie spéciale, telle que le puritanisme ou le rationalisme critique, et qui porte maintenant son idéologie en lui comme une tumeur mentale; un citoyen adulte est celui qui a appris à prendre ses décisions et qui a décidé en faveur de ce qui, croit-il, lui convient le mieux. C'est celui qui a une certaine solidité mentale (il ne s'éprend pas du premier idéologue chanteur de rue qu'il lui arrive de rencontrer); c'est celui qui est capable de choisir consciemment le métier qui lui paraît le plus attrayant plutôt que de se laisser avaler. Pour se préparer à ce choix, il étudiera les principales idéologies comme il étudierait des phénomènes historiques; il étudiera la science comme un phénomène historique, et non comme le seul et unique moyen raisonnable d'aborder un problème. Il l'étudiera en même temps que d'autres contes de fées, tels que les mythes des sociétés « primitives », pour avoir les renseignements nécessaires à une libre décision. Connaître les propagandistes les plus en vue dans tous les domaines sera une partie essentielle d'une éducation générale de cette espèce, de sorte que l'élève pourra organiser sa résistance à la propagande, y compris la

propagande appelée « raisonnement ». Ce n'est qu'après s'être ainsi affermi qu'il sera appelé à faire son choix dans les dichotomies rationalisme-irrationalisme, science-mythe, science-religion, et ainsi de suite. Sa décision en faveur de la science — s'il choisit la science — sera alors bien plus « rationnelle » que ne l'est aujourd'hui aucune décision en faveur de la science. À tout le moins, la science et les écoles seront aussi soigneusement séparées que la religion et les écoles le sont aujourd'hui. Les sciences participeront naturellement aux décisions gouvernementales, car tout le monde participe à ces décisions, mais on leur donnera pas une autorité démesurée. C'est le vote de tous ceux qui sont concernés qui décidera des choix fondamentaux, tels que les méthodes d'enseignement utilisées, ou la justesse de croyances de base comme la théorie de l'évolution ou la théorie des quanta; c'est ce vote qui décidera, et non l'autorité des grands pontes qui se cachent derrière une méthodologie inexistante. Il n'y a aucune raison de craindre qu'une telle réorganisation de la société conduise à des résultats indésirables. La science elle-même se sert de la méthode scrutin-discussion-vote, bien qu'elle n'ait pas saisi clairement son mécanisme, et qu'elle en use avec une partialité très marquée. En revanche, la rationalité de nos croyances en sera sans doute considérablement augmentée.

Notes

1. Cf. les merveilleuses études d'Evans-Pritchard, Glaule, Edith Hamilton, Jeremias, Frankfort, Thorkild Jacobsen et autres. On en trouvera un résumé dans de Santillana-von Dechend, Hamlet's Mill, Boston, 1969, ainsi que dans mon *Einführung in die Naturphilosophie*, Braunschweig, 1974. Ce sont là des études de cas, dans le sens de Lakatos, et qui satisfont à ses critères les plus rigoureux. Pourquoi donc ses camarades en rationalisme et lui-même sont-ils si peu disposés à accepter leurs résultats?

2. Originellement publié dans *Africa*, vol. 37, 1967, p. 87-155. Je cite d'après la réimpression abrégée de Max Marwick, Éd., *Witchcraft and Sorcery*, Penguin Books, 1970, p. 342 s.

3. *Ibid.*, p. 362.

4. *Ibid.*, p. 364.

5. *Ibid.*, p. 365.

6. *Ibid.*, p. 368.

7. *Loc. cit.*

8. *Ibid.*, p. 365.

9. Cf. sa discussion de ce qu'il appelle le « Closed And Open Predicament », dans la deuxième partie de son essai.

10. C'est un procédé très connu dans la sorcellerie africaine. Cf. Evans-Pritchard, *Sorcellerie, Oracles et Magie chez les Azandé*, Paris, Gallimard, 1972, ainsi que *Anthropologie sociale, op. cit.*, p. 124-125.

11. Cf. les premières réactions contre les variables cachées dans la théorie des quanta, l'attitude envers l'astrologie, la télékinésie, la télépathie, le Vaudou, Ehrenhaft, Velikovsky, et ainsi de suite. Cf. également l'histoire amusante de Köstler, *The Midwife Toad*, New York, 1973. (Trad. française. *L'Étreinte du crapaud*, Paris, Calman-Lévy, 1972.)

12. Ceci a été souligné par Kuhn; cf. « The function of Dogma in Scientific Research », *Scientific Change*, Londres, A.C. Crombie (éd.) 1963, p. 69-347, et *La structure des révolutions scientifiques*, Paris, Flammarion, 1972.

13. Cf. annexe 3, p. 238.

14. Sur les déficiences humanitaires de la science, cf. « Experts in a Free Society », *The critic*, novembre-décembre 1971, ou la version améliorée en allemand de cet essai et de « Towards a Humanitarian Science », de mon *Ausgewählte Aufsätze*, Vieweg, 1974, vol. 1, 2e partie.

15. En considérant le dogmatisme naïf mais néanmoins assez belliqueux des ennemis de Lyssenko, on se demande si, sans l'intervention de l'État, ses idées auraient jamais été défendues. « L'existence de mutations dans les systèmes vivants, est une réalité objectives qui ne peut être mise en question. » « Sans aucune base factuelle (...) à partir de considérations abstraites (...) Williams a considéré... » L'existence des gènes a « déjà été prouvée incontestablement (...) ». Mendel « dont les données ne peuvent être réfutées (...) » « il ne peut y avoir deux biologies (à savoir deux différents systèmes de pensée en biologie) ».—Ces phrases parsèment généreusement le livre naïf de Medvedev, *La Montée et la Chute de T.D. Lyssenko*.
Cf. également le discours embrouillé de Vavilov tel qu'il est rapporté à la page 58 du livre et que Medvedev qualifie d'analyse « pénétrante et précise ». Que dit Vavilov? Il dit: « J'ai cru et je crois encore, et j'insiste sur ce qui, je pense, est vrai et non seulement sur ce que je crois, car accepter quelque chose sur la foi est absurde en science, mais je dis aussi ce que je sais sur la base d'une large expérience. Ceci est un fait. — La situation est telle que, quelque soit le livre étranger que vous prenez, il va à l'opposé de l'enseignement de l'Institut Odessa... » Pénétrant? Précis? Bien entendu. Car ici nous avons un scientifique qui, n'étant pas disposé à reconsidérer un de ses dadas, se met à le défendre en disant *a.* qu'il y croyait, *b.* qu'il n'y croyait pas parce que la foi est absurde dans les sciences, *c.* que c'était un fait, *d.* qu'il était en accord avec les livres étrangers. Voilà la sorte de gens que Lyssenko avait à combattre. Il est bien évident qu'il avait besoin d'une aide extérieure pour faire suffisamment entendre ses idées.

Paul FEYERABEND Contre la méthode, Paris, Seuil, 1979, pp. 332 à 350.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

BACHELARD, Gaston. La formation de l'esprit scientifique, Paris, Librairie philosophique J. Vrin, 1975.

BACHELARD, Gaston. Le nouvel esprit scientifique, Paris, Presses Universitaires de France, 1971.

BARUK, Stella. L'âge du capitaine: de l'erreur en mathématiques, Paris, Seuil, 1985.

BEAUDET, André. Les étudiants adultes et les programmes d'enseignement collégial, Québec, Direction générale de l'enseignement collégial, 1981.

BERNARD, Jean-Louis. L'apprenant adulte, Montréal, Université de Montréal, Sciences de l'éducation, 1978.

BEIGBEDER, Marc. Le contre-Monod, Paris, Grasset éditeur, 1972.

BIEZUNSKI, Michel (Ed.). La recherche en histoire des sciences, Paris, Seuil, octobre 1983.

BLOUIN, Yves. Éduquer à la réussite en mathématiques, Québec, Cégep François-Xavier-Garneau, 1987.

BLOUIN, Yves. La réussite en mathématiques au collégial: le talent n'explique pas tout, Québec, Cégep François-Xavier-Garneau, 1985.

CENTRALE DE L'ENSEIGNEMENT DU QUÉBEC. Pour les rapports égaux femmes-hommes: semaine d'intervention pédagogique du 1er au 8 mars 1981, cahier pédagogique, (s.l.n.d.).

CHARTRAND, Luc, Raymond DUCHESNE et Yves GINGRAS. Histoire des sciences au Québec, Montréal, Boréal, 1987.

COHEN, Bernard. Les origines de la physique moderne, Paris, Payot éditeur, 1962.

DANINE, Danil. Nécessité de l'étrange, Paris, Julliard éditeur, 1966.

DE BROGLIE, Louis. La physique nouvelle et les quantas, Paris, Flammarion, 1974.

DUFRESNE-TASSÉ, Colette. L'apprentissage adulte, essai de définition, Montréal, Études vivantes, 1981.

DUFRESNE-TASSÉ, Colette. «Gastronomie ou tambouille? Les tours de main de l'enseignement aux adultes», dans Formation aux adultes, vol. 2, 1978, pp. 18 à 27.

EINSTEIN, Albert. La relativité, Paris, Payot éditeur, 1956.

FEYERABEND, Paul. Contre la méthode, Paris, Seuil, 1979.

GATTUSO, Linda et Raymond LACASSE. Les mathophobes: une expérience de réinsertion au collégial, Montréal, Cégep du Vieux-Montréal, 1986.

GAULIN, Francine. Démythification de la chimie, matériel didactique: «Opération boules à mythes», Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science, Direction générale de l'enseignement collégial, Service du développement des programmes, septembre 1990.

GEYMONAT, Ludovico. Galilée, Paris, Robert Laffont, 1968.

GIROUD, Françoise. Une femme honorable, Paris, Fayard, 1981.

GUSDORF, Georges. La révolution galiléenne, Paris, Payot, 1969.

HEISENBERG, Werner. La nature dans la physique contemporaine, Gallimard, Collection Idées, 1962.

HEISENBERG, Werner. La partie et le tout, Paris, Albin Michel, 1972.

KIDD, James Robbins. How adults learn, New York, Association Press, 1973.

KNOWLES, Malcolm. The modern practice of adult education, New York, Association Press, 1970.

KOYRÉ, Alexandre. Études d'histoire de la pensée scientifique, Gallimard, 1973.

LAFORTUNE, Louise. Les mathématiques et le choix de carrière des adultes, Montréal, Cégep André-Laurendeau, 1987.

LAFORTUNE, Louise. Les mathématiques d'appoint et les adultes: description de la situation et éléments de solution, Québec, Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science, Direction générale de l'enseignement collégial, Service de formation aux adultes, 1987.

LEE, Lesley. Démystification des mathématiques, Saint-Jérôme, Cégep de Saint-Jérôme, 1986.

LÉVY-LEBLOND, Jean-Marc. L'esprit de sel, Paris, Fayard, 1981.

MAHEU et al. Science et synthèse, Unesco, Gallimard, Collection Idées, 1967.

MILLER, François. L'enseignement aux adultes, Québec, Université Laval, Service de pédagogie universitaire, 1984.

MONOD, Jacques. Le hasard et la nécessité, Paris, Seuil, 1971.

NIMIER, Jacques. Les maths, le français, les langues, à quoi ça sert?, Paris, Cedic, Nathan, 1985.

PINE, G.J. et P.J. HORNE. «Principles and conditions for learning in adult education» dans Adult leadership, vol 18, no 4, pp. 108 à 134.

PITRE, André. L'adulte en situation d'apprentissage, Valleyfield, Cégep de Valleyfield, 1970.

PLANCK, Max. L'image du monde dans la physique moderne, Genève, Gonthier, 1963.

POPPER, Karl R. The logic of scientific discovery, New York, Harper & Row, 1968.

QUÉBEC. Ministère de l'Éducation, Coordination à la condition féminine, Répertoire de conférencières en emploi non-traditionnel, Québec, (s.d.).

ROGERS, Jennifer. Adult learning, Harmondsworth, Middlesex, Penguin Books, 1971.

THUILLIER, Pierre. Jeux et enjeux de la science, Paris, Robert Laffont, 1972.

TOBIAS, Sheila. (1978) Le mythe des maths, Paris, Études vivantes, 1980.

VERNER, C. et C.V. DAVIDSON. Psychological factors in adult learning and instruction, Florida, Research Information Processing Center, Department of Adult Education, Florida State University, Tallahasse, 1971.

VILLEDIEU, Yannick. «Profils de femmes chimistes canadiennes» dans Interface, jan-fév. 1988, pp. 8 à 10.

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Science

1513-0146
89-0721